



TUGAS AKHIR - MO 141326

DESAIN DAN ANALISA KEKUATAN STRUKTUR MODEL *COLLAR*  
*CAGE AQUACULTURE*

ANANDA RAIZ PAMBELA

NRP. 4313100111

Dosen pembimbing

Nur Syahroni, S.T, M.T, PhD.

Dr.Eng., Yeyes Mulyadi, S.T, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



FINAL PROJECT - MO 141326

DESIGN AND STRENGTH ANALYSIS OF COLLAR CAGE  
AQUACULTURE STRUCTURE MODEL

ANANDA RAIZ PAMBELA

NRP. 4313100111

Supervisors

Nur Syahroni, S.T, M.T, PhD.

Dr.Eng., Yeyes Mulyadi, S.T, M.Sc.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

2018

# DESAIN DAN ANALISA KEKUATAN STRUKTUR MODEL COLLAR CAGE AQUACULTURE

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Ananda Raiz Pambela**

NRP. 4313 100 111

Disetujui oleh:

1. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Dr.Eng., Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Pembimbing 2)

3. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Penguji 1)

4. Dr.Eng., Rudi Walujo P, S.T., M.T. (Penguji 2)

5. Ir.Handayanu, M.Sc, Ph.D (Penguji 3)

SURABAYA, JANUARI 2018

# DESAIN DAN ANALISA KEKUATAN STRUKTUR MODEL COLLAR CAGE AQUACULTURE

**Nama Mahasiswa** : Ananda Raiz Pambela  
**NRP** : 4313 100 111  
**Jurusan** : Teknik Kelautan  
**Dosen Pembimbing** : Nur Syahroni, S.T, M.T, Ph.D  
Dr.Eng, Yeyes Mulyadi, S.T, M.Sc.

## ABSTRAK

Indonesia memiliki potensi kekayaan laut yang sangat besar. Namun maraknya pencurian ikan, *overfishing*, dan perubahan iklim membuat produktivitas perikanan Indonesia menurun. Penurunan ini dapat diatasi dengan meningkatkan produksi perikanan Indonesia melalui *aquaculture*. Teknologi *aquaculture* yang saat ini tengah dikembangkan adalah *offshore aquaculture* atau *aquaculture* lepas pantai. Dalam dua dekade terakhir berbagai macam desain struktur *offshore aquaculture* telah dikembangkan, salah satunya adalah *collar cage aquaculture*. Setiap struktur bangunan laut termasuk *aquaculture* pasti terkena beban lingkungan sehingga perlu dilakukan perhitungan kekuatan struktur secara statis maupun dinamis. Tension maksimum yang dialami struktur terjadi pada *mooring line* 1 pada *heading* 0°. Tegangan von mises maksimum yang dialami struktur adalah 15.27 MPa. Secara statis struktur dinyatakan aman karena tegangan maksimumnya lebih kecil daripada tegangan ijin struktur, 20 MPa. Selain itu dilakukan analisa terhadap *fatigue life* dengan metode *deterministic* menggunakan *S-N Curve*, yaitu dengan meninjau rasio kerusakan kumulatif (D) akibat beban yang diterima struktur. Nilai D maksimum pada struktur adalah 0.3024 serta memiliki umur kelelahan 66.12 tahun.

**Kata kunci** : *Collar cage aquaculture, Mooring Tension, Static Analysis, Fatigue Analysis.*

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

# DESIGN AND STRENGTH ANALYSIS OF COLLAR CAGE AQUACULTURE STRUCTURE MODEL

**Name** : Ananda Raiz Pambela  
**NRP** : 4313 100 111  
**Department** : Ocean Engineering  
**Supervisors** : Nur Syahroni, S.T, M.T, Ph.D  
Dr.Eng, Yeyes Mulyadi, S.T, M.Sc.

## ABSTRACT

Indonesia has enormous potential of marine resources. However the rise of illegal fishing, overfishing and climate change have effect on decreasing fishery productivity in Indonesia. This situation can be overcome by developing aquaculture. Aquaculture technology that currently under development is offshore aquaculture. In the last two decades various designs of offshore aquaculture structures have been developed, one of which is collar cage aquaculture. Each offshore structure including aquaculture is exposed to the fluctuating environmental load, so it is necessary to calculate the strength of the structure statically and dynamically. The maximum tension experienced by the structure occurs on the mooring line 1 on the heading 0 °. The maximum von mises stress of the structure is 15.27 MPa. Statically, the structure is declared safe because its maximum tension is smaller than the structure allowable strength, 20 MPa. Additionally, fatigue life analysed using deterministic method using S-N Curve is done by reviewing the ratio of cumulative damage (D) due to the load received by the structure. The maximum D value in the structure is 0.3024 and has a fatigue life of 66.12 years.

**Keywords** : *Collar cage aquaculture, Mooring Tension, Static Analysis, Fatigue Analysis.*

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, hidayah dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Desain dan Analisa Kekuatan Struktur Model *Collar Cage Aquaculture*”. Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dengan Tugas Akhir ini, diharapkan dapat dipakai sebagai salah satu acuan dalam pengembangan teknologi *aquaculture* di Indonesia.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan sebagai penyempurnaan untuk penulisan selanjutnya. Besar harapan penulis semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan para pembaca pada umumnya.

Surabaya, 2018

Ananda Raiz Pambela



## UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam proses pengerjaan dan penyusunan laporan ini, penulis telah mendapatkan dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini pula, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan berkah, rezeki, petunjuk dan kemudahan sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Kedua orangtua dan adik penulis yang selalu memberi dukungan fisik dan moral sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
3. Bapak Nur Syahroni S.T, M.T, Ph.D dan Dr.Eng, Yeyes Mulyadi, S.T, MSc. selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang telah memimbing penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak Mas Murtedjo M.Eng yang telah banyak membantu penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Sandy Octavian ST, Vilda Ariviana ST, dan Ibnu Fasyin Fuadi ST, Angga Baskara ST, dan Hafidz Bagus Prasetyo Adi ST yang telah memberikan pelatihan, pengarahan serta berbagi ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman-teman AKS yang telah menjadi teman seperjuangan bersama penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Serta pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Sekali lagi penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bantuan yang telah diberikan oleh pihak-pihak yang sudah penulis sebutkan di atas, dan semoga mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT.

Surabaya, 2018

Ananda Raiz Pambela

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Batasan Masalah .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5

### BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Dasar Teori .....	8
2.2.1 <i>Aquaculture</i> .....	8
2.2.2 <i>Layout dan Bentuk Struktur Collar Cage Aquaculture</i> .....	12
2.2.3 Hukum Archimedes .....	14
2.2.4 Teori Dasar Gerak Bangunan Apung .....	14
2.2.5 Spektra Gelombang.....	17
2.2.6 <i>Response Amplitude Operator (RAO)</i> .....	18
2.2.7 Spektra Respons .....	19
2.2.8 Konsep Pembebanan .....	20

2.2.9	<i>Boundary Condition dan Meshing</i> .....	21
2.2.10	Tegangan Normal .....	21
2.2.11	Tegangan Geser.....	22
2.2.12	Tegangan Von Mises.....	22
2.2.13	Perhitungan Umur Kelelahan.....	23
2.2.14	Penaksiran Umur Kelelahan Sederhana .....	24

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian .....	27
3.2	Prosedur Penelitian .....	29
3.3	Pengumpulan Data .....	31
3.3.1	Data Lingkungan .....	31
3.3.2	Data Material .....	32

### BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1	Skenario Ikan .....	33
4.2	Konfigurasi Struktur .....	34
4.3	Perhitungan Berat dan <i>Buoyancy</i> .....	44
4.4	Permodelan Struktur .....	47
4.5	<i>Response Amplitude Operator (RAO)</i> .....	49
4.5.1	<i>RAO Free Floating</i> .....	49
4.5.2	RAO Tertambat .....	49
4.6	Spektrum Gelombang .....	58
4.7	Respon Spektra dan Respon Struktur.....	59
4.8	Analisa <i>Mooring Tension</i> .....	63
4.9	Analisa Statis Struktur Collar Cage Aquaculture .....	65
4.9.1	Skema Pembebanan dan <i>Boundary Condition</i> .....	65
4.9.2	<i>Meshing Sensitivity</i> .....	67
4.9.3	Analisis Tegangan.....	68
4.10	Analisa Kelelahan Struktur <i>Collar Cage Aquaculture</i> .....	69

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....	77
5.2 Saran .....	78

DAFTAR PUSTAKA .....	79
----------------------	----

## LAMPIRAN

## BIODATA PENULIS

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan <i>Inshore</i> dan <i>Offshore Aquaculture</i> .....	8
Tabel 2.2	Parameter Kurva S-N .....	24
Tabel 3.1	Data Lingkungan 100 Tahunan Laut Timor .....	31
Tabel 3.2	Data Metaocean Laut Timor (1 Tahunan) .....	31
Tabel 3.3	Sifat Mekanis <i>High Density Poly Ethylene</i> (HDPE) .....	32
Tabel 4.1	Dimensi Bangunan Atas .....	36
Tabel 4.2	Spesifikasi HDPE PE 80 .....	37
Tabel 4.3	Dimensi <i>Collar</i> .....	38
Tabel 4.4	Dimensi dan Spesifikasi <i>Sinker</i> .....	40
Tabel 4.5	Dimensi <i>Handrail</i> .....	41
Tabel 4.6	Perhitungan Berat Bangunan Atas .....	45
Tabel 4.7	Perhitungan Berat <i>Floater</i> .....	45
Tabel 4.8	Perhitungan <i>Buoyancy</i> .....	46
Tabel 4.9	Perhitungan Berat dan <i>Buoyancy</i> Jaring .....	47
Tabel 4.10	Spesifikasi <i>Nylon</i> SN81-120220-DY .....	53
Tabel 4.11	Spesifikasi Aqua 850 <i>Offshore Aquaculture Buoy</i> .....	54
Tabel 4.12	Rekapitulasi Amplitudo RAO <i>Free Floating</i> dan RAO Tertambat .....	57
Tabel 4.13	Harga-Harga Stokastik Respons Gerakan Translasi <i>Heading</i> 0° .....	60
Tabel 4.14	Harga-Harga Stokastik Respons Gerakan Rotasi <i>Heading</i> 0° .	60
Tabel 4.15	Harga-Harga Stokastik Respons Gerakan Translasi <i>Heading</i> 45° .....	61
Tabel 4.16	Harga-Harga Stokastik Respons Gerakan Rotasi <i>Heading</i> 45° .....	62
Tabel 4.17	Harga-Harga Stokastik Respons Gerakan Translasi <i>Heading</i> 90° .....	62
Tabel 4.18	Harga-Harga Stokastik Respons Gerakan Rotasi <i>Heading</i> 90° .....	63

Tabel 4.19	Hasil dan Analisis <i>Tension</i> Maksimum pada <i>Mooring Lines</i> ...	64
Tabel 4.20	Pembebanan pada Analisa Statis .....	66
Tabel 4.21	<i>Meshing Sensitivity</i> .....	67
Tabel 4.22	Hasil Tegangan Von Mises Maksimum di Setiap <i>Heading</i> .....	69
Tabel 4.23	Perhitungan Pembebanan Analisa Umur Kelelahan.....	70
Tabel 4.24	Perhitungan <i>Stress Range</i> Masing-Masing Titik.....	73
Tabel 4.25	Perhitungan N Masing-Masing Titik.....	73
Tabel 4.26	Perhitungan Rasio Kerusakan Kumulatif Titik A .....	74
Tabel 4.27	Perhitungan Rasio Kerusakan Kumulatif Titik B.....	74
Tabel 4.28	Perhitungan Rasio Kerusakan Kumulatif Titik C.....	75
Tabel 4.29	Perhitungan Rasio Kerusakan Kumulatif Titik D .....	75
Tabel 4.30	Perhitungan Rasio Kerusakan Kumulatif Titik E.....	76

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Produksi Perikanan Tangkap dan Aquaculture Dunia .....	2
Gambar 1.2	Ilustrasi Struktur <i>Collar Cage Aquaculture</i> .....	3
Gambar 1.3	<i>Collar Cage Aquaculture</i> di Lautan Ganas.....	3
Gambar 2.1	Tipe-tipe Sistem <i>cage aquaculture</i> .....	9
Gambar 2.2.	<i>Collar Cage</i> di Norwegia .....	10
Gambar 2.3	Sadco Shelf di Rusia .....	11
Gambar 2.4	Farmocean di Swedia .....	11
Gambar 2.5	Ilustrasi <i>Sea Station Cage</i> .....	12
Gambar 2.6	OceanGlobe Cage di Byks, Norwegia .....	12
Gambar 2.7	<i>Layout Cage Aquaculture</i> .....	13
Gambar 2.8	Contoh Grafik Kurva S-N .....	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	28
Gambar 3.2	Kurva S-N HDPE .....	32
Gambar 4.1	Morfologi Ikan Tuna Secara Umum .....	33
Gambar 4.2	Ikan Tuna Sirip Kuning .....	34
Gambar 4.3	<i>Collar Cage Aquaculture</i> Tampak Isometri .....	34
Gambar 4.4	<i>Collar Cage Aquaculture</i> Tampak Samping.....	35
Gambar 4.5	<i>Collar Cage Aquaculture</i> Tampak Atas .....	35
Gambar 4.6	<i>Smooth Surface HDPE Sheet</i> .....	36
Gambar 4.7	Letak <i>Inner Collar</i> .....	38
Gambar 4.8	Letak <i>Outer Collar</i> .....	38
Gambar 4.9	Letak <i>Middle Collar A</i> .....	39
Gambar 4.10	Letak <i>Middle Collar B</i> .....	39
Gambar 4.11	Letak <i>Middle Collar C</i> .....	39
Gambar 4.12	Letak <i>Sinker</i> .....	40
Gambar 4.13	Letak <i>Outer Handrail</i> .....	41
Gambar 4.14	Letak <i>Inner Handrail</i> .....	41
Gambar 4.15	Letak <i>Bracket</i> .....	42
Gambar 4.16	Detail <i>Bracket</i> Tampak Isometri.....	42

Gambar 4.17	Detail Penampang <i>Bracket</i> .....	42
Gambar 4.18	Letak Tali <i>Sinker</i> .....	43
Gambar 4.19	<i>Meshing</i> Jaring.....	43
Gambar 4.20	Areal Jaring .....	44
Gambar 4.21	Model <i>Surface</i> pada Autodesk Inventor .....	48
Gambar 4.22	Model <i>Solid</i> pada Autodesk Inventor .....	48
Gambar 4.23	Grafik RAO <i>Collar Cage Aquaculture</i> Translasi Kondisi <i>Free Floating</i> pada <i>Heading</i> 0° .....	49
Gambar 4.24	Grafik RAO <i>Collar Cage Aquaculture</i> Rotasi Kondisi <i>Free Floating</i> pada <i>Heading</i> 0° .....	50
Gambar 4.25	Grafik RAO <i>Collar Cage Aquaculture</i> Translasi Kondisi <i>Free Floating</i> pada <i>Heading</i> 45° .....	50
Gambar 4.26	Grafik RAO <i>Collar Cage Aquaculture</i> Rotasi Kondisi <i>Free Floating</i> pada <i>Heading</i> 45° .....	51
Gambar 4.27	Grafik RAO <i>Collar Cage Aquaculture</i> Translasi Kondisi <i>Free Floating</i> pada <i>Heading</i> 90° .....	51
Gambar 4.28	Grafik RAO <i>Collar Cage Aquaculture</i> Rotasi Kondisi <i>Free Floating</i> pada <i>Heading</i> 90° .....	52
Gambar 4.29	Permodelan Struktur Tertambat dan <i>Heading</i> Gelombang .....	53
Gambar 4.30	Aqua 850 <i>Offshore Aquaculture Buoy</i> .....	53
Gambar 4.31	Grafik RAO <i>Collar Cage Aquaculture</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 0° .....	54
Gambar 4.32	Grafik RAO <i>Collar Cage Aquaculture</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 0° .....	55
Gambar 4.33	Grafik RAO <i>Collar Cage Aquaculture</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 45° .....	55
Gambar 4.34	Grafik RAO <i>Collar Cage Aquaculture</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 45° .....	56
Gambar 4.35	Grafik RAO <i>Collar Cage Aquaculture</i> Translasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 90° .....	56
Gambar 4.36	Grafik RAO <i>Collar Cage Aquaculture</i> Rotasi Kondisi Tertambat pada <i>Heading</i> 90° .....	57



Gambar 4.37	Grafik Spektrum JONSWAP .....	58
Gambar 4.38	Grafik Respon Spektra Gerakan Translasi <i>Heading</i> 0° .....	59
Gambar 4.39	Grafik Respon Spektra Gerakan Rotasi <i>Heading</i> 0° .....	60
Gambar 4.40	Grafik Respon Spektra Gerakan Translasi <i>Heading</i> 45° .....	61
Gambar 4.41	Grafik Respon Spektra Gerakan Rotasi <i>Heading</i> 45° .....	61
Gambar 4.42	Grafik Respon Spektra Gerakan Translasi <i>Heading</i> 90° .....	62
Gambar 4.43	Grafik Respon Spektra Gerakan Rotasi <i>Heading</i> 90° .....	63
Gambar 4.44	Skema Penomoran <i>Mooring Lines</i> .....	65
Gambar 4.45	Skema Pembebanan dan <i>Boundary Condition</i> .....	66
Gambar 4.46	Grafik <i>Meshing Sensitivity</i> .....	67
Gambar 4.47	Hasil <i>Meshing</i> dengan ukuran 95 mm.....	68
Gambar 4.48	Tegangan Von Mises pada Struktur .....	68
Gambar 4.49	Skema Pembebanan Analisa Umur Kelelahan .....	70
Gambar 4.50	Titik yang Dipilih untuk Ditinjau Umur Kelelahannya .....	70
Gambar 4.51	Titik Peninjauan A .....	71
Gambar 4.52	Titik Peninjauan B .....	71
Gambar 4.53	Titik Peninjauan C .....	71
Gambar 4.54	Titik Peninjauan D .....	72
Gambar 4.55	Titik Peninjauan E.....	72

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Perhitungan Berat dan <i>Buoyancy</i>
LAMPIRAN B	Hasil RAO <i>Free Floating</i>
LAMPIRAN C	Hasil Spektra Gelombang, RAO Tertambat, dan Spektra Respons
LAMPIRAN D	Perhitungan <i>Fatigue</i>

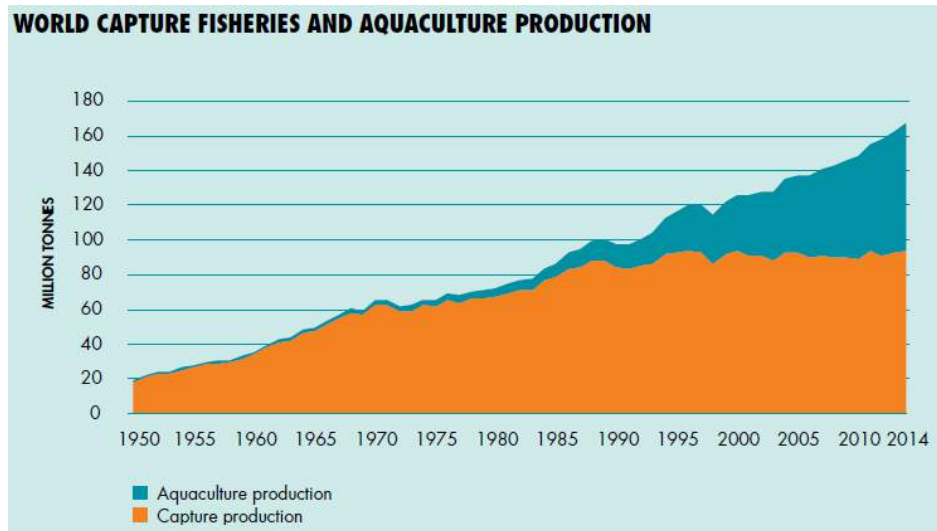
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Secara geografis Indonesia memiliki luas laut sebesar 5,8 Juta km<sup>2</sup> yang terdiri dari laut territorial dengan luas 0,8 juta km<sup>2</sup> , laut nusantara 2,3 juta km<sup>2</sup> dan zona ekonomi eksklusif 2,7 juta km<sup>2</sup> (Dewan Kelautan Indonesia, 2008). Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa Indonesia merupakan salah satu poros maritim dunia dan memiliki potensi kekayaan laut yang sangat besar. Menurut data Kementerian Kelautan dan Perikanan (2015) produksi perikanan Indonesia pada tahun 2014 mencapai 14,45 juta ton. Jumlah ini selaras dengan nilai PDB (Produk Domestik Bruto) di kategori perikanan yang mencapai Rp.342,65 triliun dalam periode yang sama. Namun di sisi lain maraknya pencurian ikan oleh nelayan asing dan penangkapan ikan yang berlebihan (*overfishing*) membuat produktivitas perikanan Indonesia menurun. Penurunan ini dapat diatasi dengan meningkatkan produksi perikanan Indonesia melalui budidaya atau dapat disebut sebagai *aquaculture*.

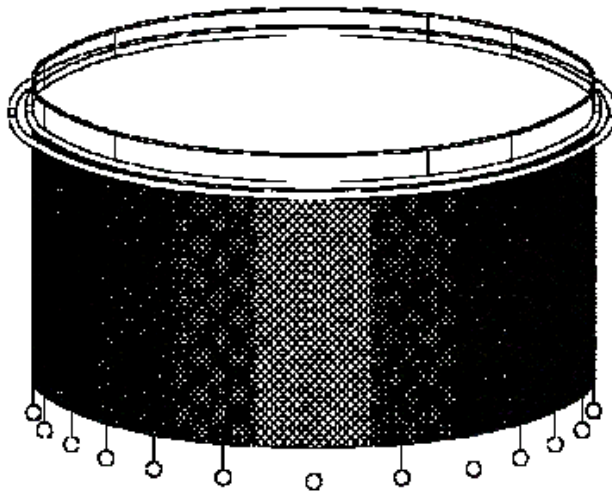
*Aquaculture* merupakan kegiatan budidaya organisme akuatik dalam kondisi terkontrol atau semi-terkontrol. Jadi pada dasarnya *aquaculture* merupakan versi perairan dari agrikultur. *Aquaculture* merupakan industri yang sangat menjanjikan karena secara global produksi *aquaculture* selalu mengalami peningkatan. Berdasarkan data yang dihimpun oleh FAO (*Food and Agricultural Organization*) (2016), pada tahun 2010 produksi *aquaculture* dunia mencapai 58,97 juta ton dan mengalami peningkatan di tahun 2012 dengan 66,46 juta ton dan kembali mengalami peningkatan di tahun 2014 dengan 73,78 juta ton seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1. Dalam periode tersebut, Indonesia berkontribusi sebesar 5,77 persen dari produksi *aquaculture* dunia dengan 4,25 ton. Jumlah tersebut tidak jauh berbeda dengan Vietnam yang berkontribusi sebesar 4,6 persen dari produksi *aquaculture* dunia yang notabene memiliki potensi kekayaan yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan Indonesia. Dengan demikian, pengembangan teknologi *aquaculture* di Indonesia sangat perlu dilakukan untuk memaksimalkan potensi yang ada.



Gambar 1.1 Produksi Perikanan Tangkap dan *Aquaculture* Dunia (FAO, 2016)

Teknologi *aquaculture* yang saat ini tengah dikembangkan adalah *offshore aquaculture* atau *aquaculture* lepas pantai. Menurut Rubino (2008), *aquaculture* lepas pantai memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan *aquaculture* konvensional antara lain: kualitas air yang lebih baik, ketersediaan lokasi yang lebih banyak, dan potensi ekonomi yang lebih tinggi. Dalam dua dekade terakhir berbagai macam desain struktur *offshore aquaculture* telah dikembangkan. Salah satunya adalah *collar cage aquaculture*.

Menurut Cardia dan Lovatelli (2015) *collar cage aquaculture* terdiri dari pipa *high-density polyethylene* (HDPE) yang bisa dirakit dengan berbagai cara agar menghasilkan *collar* dalam berbagai bentuk dan ukuran. Pipa tersebut disatukan oleh serangkaian *bracket* dengan *stanchions* yang diletakkan di sekelilingnya sehingga membentuk *collar ring* terapung sebagai struktur utama yang menopang jaring. Struktur ini juga menggunakan sistem pemberat yang juga disebut dengan *sinker system* di ujung bawah jarring untuk mempertahankan bentuk dan ukurannya. Ilustrasi dari struktur *collar cage* dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Ilustrasi Struktur *Collar Cage Aquaculture* (Olivares, 2003)

*Collar cage aquaculture* merupakan jenis *offshore aquaculture* yang paling umum digunakan. Bentuk yang sederhana, material yang mudah ditemukan dan biaya fabrikasi yang rendah merupakan faktor-faktor yang membuat *collar cage aquaculture* sering digunakan. Meski demikian, desain *collar cage aquaculture* yang tersedia saat ini tidak mampu bertahan di lautan yang ganas. Apabila *collar cage aquaculture* diletakkan di lautan yang ganas, maka struktur ini akan mengalami deformasi ekstrem dan mengalami kerusakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.3. Oleh sebab itu maka diperlukan modifikasi pada desain dan konfigurasi struktur *collar cage aquaculture* agar mampu bertahan di lingkungan laut yang ganas.



Gambar 1.3 *Collar Cage Aquaculture* di Lautan Ganas (Cardia dan Lovatelli, 2015)

Setiap struktur bangunan laut termasuk *collar cage aquaculture* pasti terkena beban lingkungan dinamis yang diakibatkan oleh angin, arus, dan gelombang. Meskipun besar beban lingkungan ini tidak melebihi kekuatan struktur, beban ini dapat menyebabkan kelelahan (*fatigue*) pada struktur bangunan laut karena terjadi terus-menerus. Struktur yang mengalami *fatigue* akan mengalami kegagalan yang dapat menyebabkan kerugian besar pada ekonomi, lingkungan, maupun manusia. Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka dalam perancangannya diperlukan analisa kekuatan struktur dengan memperhitungkan umur kelelahannya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana konsep desain dan konfigurasi struktur *Collar Cage Aquaculture* di Perairan Laut Lepas Indonesia?
2. Bagaimana kekuatan struktur *Collar Cage Aquaculture* di Perairan Laut Lepas Indonesia?
3. Berapa umur kelelahan (*Fatigue Life*) struktur *Collar Cage Aquaculture* di Perairan Laut Lepas Indonesia?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berkenaan dengan rumusan masalah yang diangkat, tujuan yang diharapkan dalam Tugas Akhir ini adalah

1. Menentukan konsep desain dan konfigurasi struktur *Collar Cage Aquaculture* di Perairan Laut Lepas Indonesia.
2. Mengetahui kekuatan struktur *Collar Cage Aquaculture* di Perairan Laut Lepas Indonesia.
3. Mengetahui umur kelelahan (*Fatigue Life*) struktur *Collar Cage Aquaculture* di Perairan Laut Lepas Indonesia.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat Tugas Akhir ini yaitu berupa pengetahuan mengenai desain dan kekuatan struktur collar cage aquaculture apabila diaplikasikan di perairan lepas pantai Indonesia. Selain itu dapat diketahui pula umur kelelahan dari struktur tersebut yang merupakan salah satu aspek krusial dari keamanan struktur *collar cage aquaculture*.

#### 1.5 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan pembahasan dalam tugas ini, maka dibuatlah batasan-batasan masalah dalam pengerjaan tugas ini yakni:

1. Model *offshore aquaculture cage* yang digunakan adalah *collar cage aquaculture*.
2. Lokasi analisa disesuaikan dengan lingkungan laut lepas di Indonesia yaitu di Laut Timor.
3. Beban lingkungan yang digunakan dalam pembebanan hanya beban gelombang dan arus.
4. Kekuatan jangkar tidak diperhitungkan dan diasumsikan mampu menahan semua beban yang ada.
5. Beban akibat impak ikan di dalam struktur tidak diperhitungkan.
6. Analisa dilakukan pada kedalaman 48 m dengan pasang tertinggi 2 m sehingga analisa dilakukan dengan kedalaman 50 m.
7. Analisa hanya dilakukan pada satu variasi tipe penambatan, yaitu tipe penambatan *rectangular array*.
8. Sistem penambatan dimodelkan tanpa *pre-tension*.
9. Jaring dimodelkan dengan elemen *surface* yang massanya disesuaikan dengan massa jaring asli.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab.

BAB I Pendahuluan, menjelaskan tentang hal-hal yang melatarbelakangi dilakukannya penelitian, permasalahan yang ingin diselesaikan dengan mengerjakan penelitian, tujuan yang digunakan untuk menjawab permasalahan yang diangkat, manfaat yang diperoleh dari dilakukannya penelitian, hal-hal yang menjadi batasan dalam pengerjaan penelitian, serta penjelasan dari sistematika laporan yang digunakan dalam penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori, berisi tinjauan pustaka serta landasan teori yang dijadikan acuan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini.

BAB III Metodologi Penelitian, menguraikan tentang langkah-langkah penelitian yang dilakukan. Mulai dari pengumpulan data, pengolahan data, pemodelan, analisa serta hasil yang didapatkan untuk mencapai tujuan.

BAB IV Analisa dan Pembahasan, menggambarkan hasil analisa serta pembahasan yang didapat dari penelitian yang telah dikerjakan dalam tugas akhir ini

BAB V Kesimpulan dan Saran, menjelaskan tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa dimana menjawab rumusan masalah pada tugas ahir ini serta saran sebagai pertimbangan dalam keperluan penelitian selanjutnya.



## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Untuk mencapai tujuan Tugas Akhir yang telah dijelaskan sebelumnya, langkah awal yang perlu dilakukan adalah tinjauan pustaka. Sumber tinjauan pustaka meliputi buku teks, jurnal internasional, *handout* kuliah, serta hasil penelitian tugas akhir di Departemen Teknik Kelautan, FTK-ITS. Sumber-sumber tersebut membahas mengenai pemilihan desain *aquaculture*, permodelan struktur *aquaculture*, respons *aquaculture* terhadap beban-beban lingkungan, tegangan yang dialami oleh *aquaculture* serta umur kelelahan struktur *aquaculture* akibat pembebanan siklis.

Olivares (2003) melakukan penelitian mengenai desain *aquaculture* yang akan diaplikasikan di perairan Meksiko. Dalam penelitian tersebut, terdapat beberapa variabel yang dipertimbangkan dalam pemilihan desain *aquaculture* seperti spesies yang akan dibudidaya, lokasi struktur, serta parameter desain *aquaculture* tersebut. Hasilnya didapatkan bahwa konsep desain *aquaculture* yang diusulkan untuk perairan tersebut adalah *floating rigid collar cage aquaculture*. Desain ini merupakan jenis yang sama dengan yang akan dianalisa dalam Tugas Akhir ini.

Lee dkk. (2008) telah melakukan penelitian mengenai simulasi perilaku dinamis sistem *fish cage* akibat arus dan gelombang dengan permodelan matematis. Dalam penelitian tersebut, sistem *fish cage* dimodelkan dengan model *mass-spring* yang divalidasi dengan eksperimen pada model fisik struktur tersebut. Fu dan Moan (2017) melakukan penelitian serupa dengan menggunakan *3D hydroelastic theory* untuk memprediksi respons dinamis *floating collar aquaculture* pada gelombang reguler. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa jaring dan *mooring line* yang menempel pada struktur tersebut mempengaruhi properti redaman sistem.

Penelitian mengenai analisa kekuatan structure *offshore aquaculture* telah dilakukan oleh Baskara (2017) yang melakukan perhitungan kekuatan mooring line terbesar dan umur kelelahan pada struktur *Farmocean aquaculture*. Dalam penelitian tersebut tegangan terbesar yang terjadi pada struktur adalah 215.87 MPa dan struktur dinyatakan aman untuk beroperasi. Umur kelelahan dari struktur adalah 26.33 tahun yang didapatkan dari hasil perhitungan Deterministic menggunakan metode S-N Curve, yaitu dengan meninjau rasio kerusakan kumulatif (D) akibat beban yang diterima struktur.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Aquaculture

*Aquaculture* merupakan budidaya dan peternakan organisme air dalam kondisi terkendali atau semi-terkendali. Akuakultur digunakan untuk berbagai tujuan seperti pengembangbiakkan ikan untuk olah raga atau pemancingan komersial; menyelamatkan spesies yang terancam punah dan untuk pemanenan tanaman komersial yang layak secara komersial baik itu di kolam maupun di perairan pesisir. Asal usul *aquaculture* dapat ditarik hingga 4000 tahun yang lalu dan sudah dipraktekkan di Cina dan wilayah Indopasifik sejak tahun 2000 SM (Beveridge, 2004).

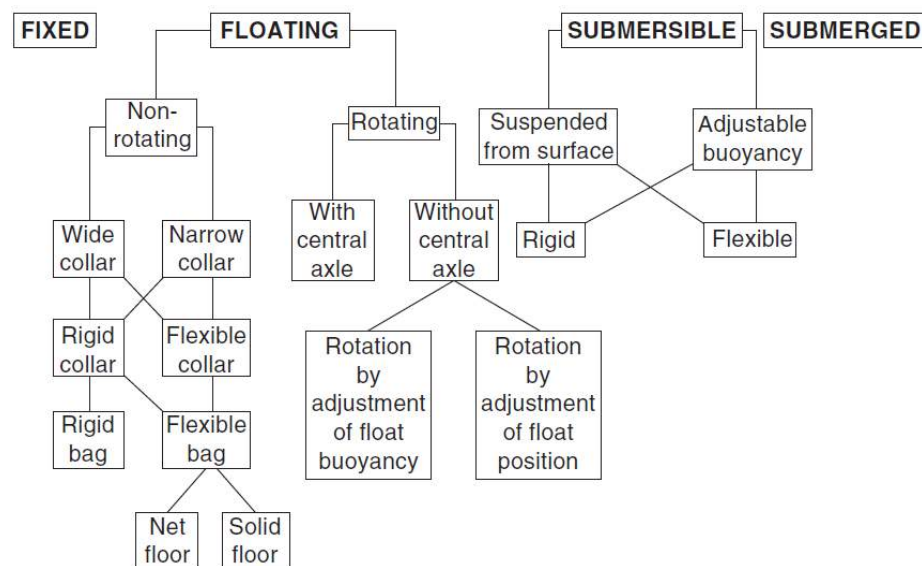
Berdasarkan lokasinya, terdapat dua kategory *aquaculture* yaitu *inshore aquaculture* dan *offshore aquaculture*. Perbedaan kedua kategori tersebut telah ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan *inshore* dan *offshore aquaculture* (Scott dan Muir, 2000)

Characteristics	Coastal (inshore)	Offshore aquaculture
Location/hydrography	0.5-3 km, 10-50 m depth; within sight, usually at least semi-sheltered	2+ km (>1nm), generally within continental shelf zones, possibly open-ocean
Environment	Hs <=3-4 m, usually <=1 m; short period winds, localized coastal currents, possibly strong tidal streams	Hs 5 m or more, regularly 2-3 m, oceanic swells, variable wind periods, possibly less localized current effect
Access	>=95% accessible on at least once daily basis, landing usually possible	Usually >80% accessible, landing may be possible, periodic, e.g., every 3-10 days
Operation	Regular, manual involvement, feeding, monitoring, etc.	Remote operations, automated feeding, distance monitoring, system function

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa *offshore aquaculture* umumnya berlokasi lebih dari 1 mil laut dari garis pantai dengan kondisi lingkungan yang lebih ganas daripada *inshore aquaculture*.

Saat ini terdapat berbagai macam sistem *cage* pada *offshore aquaculture* dengan variasi desain yang berbeda. Ada beberapa cara untuk mengklasifikasikan sistem *cage* pada *offshore aquaculture*. Beveridge (2004) membaginya menjadi beberapa tipe berdasarkan caranya beroperasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Tipe-tipe sistem *cage aquaculture* (Beveridge, 2004)

Dari Gambar 2.1 dapat diketahui bahwa terdapat empat tipe umum *cage aquaculture* yaitu: *fixed*, *floating*, *submersible*, dan *submerged*. *Fixed cage* terdiri dari jaring yang ditopang oleh tiang yang ditancapkan ke dasar sungai atau danau; sistem ini relatif murah dan mudah dibangun, namun penggunaannya terbatas di perairan dangkal yang terlindungi. *Floating cage* memiliki frame pengapung atau collar yang digunakan untuk menopang jaring. Sistem ini memiliki persyaratan lokasi yang lebih sedikit daripada sistem lain dan dapat dibuat dalam berbagai variasi desain sehingga sistem ini merupakan sistem yang paling sering digunakan. *Submersible cage* dapat ditempatkan dalam posisi tenggelam maupun terapung. Umumnya sistem ini dibiarkan terapung saat cuaca tenang dan ditenggelamkan saat cuaca tidak bersahabat (Beveridge, 2004).

Di samping itu Loverich dan Gace (1997) juga mengklasifikasikan jenis cage berdasarkan cara struktur dalam mempertahankan volume jaringnya, dan mengusulkan empat jenis cage, yaitu:

1. Gravity Cage
2. Anchor-Tensioned Cage
3. Semi-Rigid Cage
4. Rigid Cage

Gravity cage bergantung pada gaya gravitasi untuk mempertahankan volume sistem, dengan menyediakan elemen apung di permukaan dan sistem pemberat di bawah air. Sejauh ini, *gravity cage* merupakan sistem yang paling banyak digunakan di industri *aquaculture*. Struktur yang termasuk dalam jenis ini adalah *collar cage* dengan berbagai variasi material dasar seperti plastik, karet, atau kayu seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2. Selain itu terdapat juga variasi lain dari *gravity cage* seperti Sadco Shelf dan Farmoccean yang berturut-turut ditunjukkan oleh Gambar 2.3 dan Gambar 2.4.



Gambar 2.2 *Collar Cage* di Norwegia (Ryan, 2004)





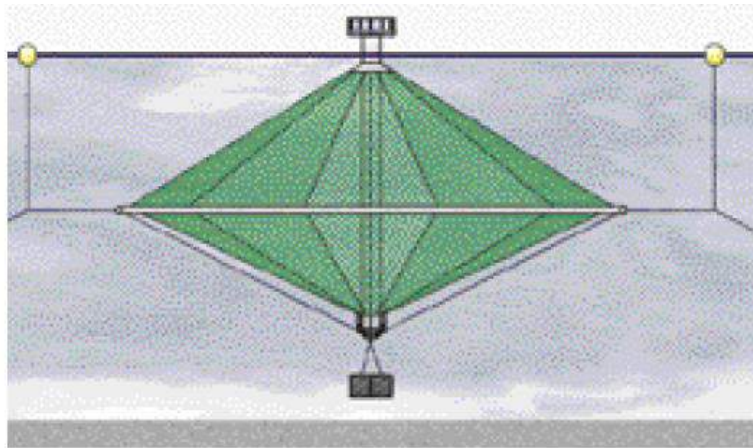
Gambar 2.3 *Sadco Shelf Cage* di Rusia (Ryan, 2004)



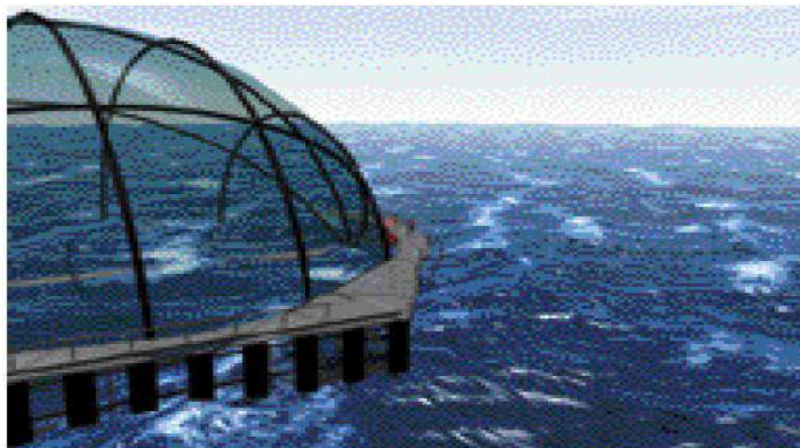
Gambar 2.4 *Farmocean* di Swedia (Ryan, 2004)

*Anchor-tensioned cage* bergantung pada sistem tambat yang dikencangkan untuk mempertahankan volume jaring karena tidak memiliki kerangka yang kaku. Menurut Ryan (2004) struktur ini mungkin memiliki kapasitas yang lebih besar daripada *gravity cage*. Struktur yang termasuk dalam jenis ini adalah Ocean Spar Cage. *Semi-rigid cage* menggunakan tali untuk menghubungkan jaring dengan komponen baja kaku agar volume jaring tetap terjaga. Saat ini, satu-satunya

struktur yang termasuk dalam *semi-rigid cage* adalah *Sea Station cage* seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.5. *Rigid cage* mengandalkan komponen struktur kaku yang terdiri dari kerangka baja atau bahan lain yang sesuai dimana jaring terpasang untuk mempertahankan volume jaring. Contoh dari jenis *cage* ini adalah Byks OceanGlobe seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.5 Ilustrasi *Sea Station Cage* (Ryan, 2004)

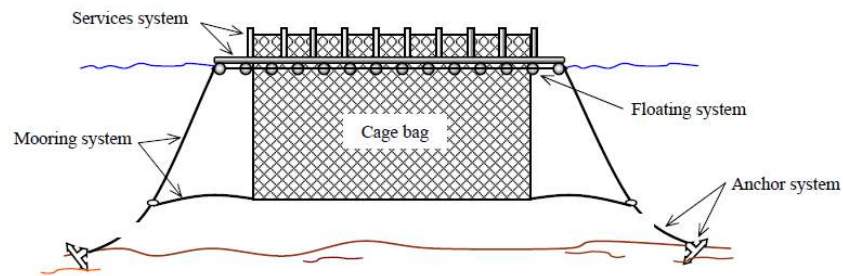


Gambar 2.6 OceanGlobe cage di Byks, Norwegia (Ryan, 2004)

### **2.2.2 Layout dan Bentuk Struktur Collar Cage Aquaculture**

*Collar cage aquaculture* seperti halnya jenis struktur aquaculture pada umumnya terdiri dari beberapa komponen utama yaitu: *floating system*, *mooring*

*system, anchor system, net cage and services system* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Layout Cage Aquaculture* (Olivares, 2003)

*Floating system* berfungsi untuk memberikan daya apung pada sistem serta mempertahankan bentuk *cage*. Bahan pengapung yang umum digunakan meliputi drum logam atau plastik, pipa polietilen densitas tinggi (HDPE), ban karet dan drum logam yang dilapisi dengan tar atau *fiberglass*.

*Service system* adalah sistem yang diperlukan untuk menyediakan layanan operasi dan perawatan, misalnya: pemberian makan, pembersihan, pemantauan atau penilaian ikan di aquaculture. Salah satu cara untuk menyediakan sistem ini adalah dengan memasang *catwalk* di sekitar cage atau di sepanjang bagian cage. Pada *collar cage aquaculture*, sistem pengapung (*collar*) juga dapat difungsikan sebagai *catwalk*.

*Cage bag* berfungsi untuk menampung dan melindungi ikan serta menyediakan habitat laut. Jaring biasanya fleksibel dan terbuat dari serat nilon sintesis atau polythene yang diperkuat dengan tali. Jaring dijaga tetap tegak secara vertikal dengan pemberat yang terletak di bagian bawah *cage*. (Chua dan Tech, 2002)

*Mooring system* berperan untuk mempertahankan cage dalam posisinya. Mooring system harus cukup kuat untuk dapat menahan kombinasi dari beban arus, angin, dan gelombang tanpa bergeser atau putus dalam kondisi cuaca terburuk. Bahan yang digunakan dalam *mooring system* adalah sea steel line, rantai, tali plastik bertulang dan konektor mekanis.

*Anchor system* berfungsi untuk menahan cage dan semua komponen di situs tertentu di dasar laut dan terhubung ke cage oleh mooring system. Pada dasarnya terdapat tiga jenis anchor system: pile anchor, dead weight dan jangkar yang mendapatkan kekuatan mereka dengan cara berinteraksi dengan dasar laut. Anchor terhubung ke sistem tambat biasanya dengan rantai dan konektor logam.

### 2.2.3 Hukum Archimedes

Hukum Archimedes merupakan prinsip dasar dari seluruh struktur terapung. Hukum ini menyatakan bahwa ketika sebuah benda tercelup seluruhnya atau sebagian di dalam zat cair, zat cair akan memberikan gaya ke atas (gaya apung) pada benda, dimana besarnya gaya keatas (gaya apung) sama dengan berat zat cair yang dipindahkan (Halliday, 1987). Berdasarkan hukum Archimedes, sebuah benda akan mengapung jika massa jenis benda tersebut lebih kecil daripada massa jenis zat cair.

Hukum Archimedes sendiri mempunyai persamaan dasar sebagai berikut:

$$F_A = \rho_A \times V_A \times g \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

- $F_A$  : Gaya keatas yang dialami benda (N)
- $\rho_A$  : Massa Jenis zat cair ( $\text{kg/m}^3$ )
- $V_A$  : Volume air yang terdesak ( $\text{m}^3$ )
- $g$  : Percepatan Gravitasi ( $\text{m/det}^2$ )

### 2.2.4 Teori Dasar Gerak Bangunan Apung

Bangunan apung akan mengalami gerakan osilasi akibat eksitasi gelombang dengan asumsi bangunan laut dianggap sebagai benda yang benar-benar padat (*perfectly rigid body*) dan terapung dipermukaan air baik dalam keadaan tenang (*still water*) maupun dalam keadaan bergoyang (*disturbed water*). Gerakan osilasi bangunan laut terdiri dari 6 macam gerakan yaitu 3 gerakan translasi dan 3 gerakan rotasional dalam 3 arah sumbu gerakan. Gerakan ini juga disebut sebagai 6 derajat kebebasan. 6 derajat kebebasan tersebut antara lain: *surge*, gerakan transversal arah sumbu x; *sway*, gerakan transversal arah



sumbu y; *heave*, gerakan transversal arah sumbu z; *roll*, gerakan rotasi arah sumbu x; *pitch*, gerakan rotasi arah sumbu y; *yaw*, gerakan rotasi arah sumbu z.

*Heave* adalah gerakan osilasi translasi pada arah sumbu vertikal (sumbu z), Secara umum persamaan gerakan heaving suatu bangunan apung pada gelombang reguler adalah:

$$a\ddot{Z} + b\dot{Z} + cZ = F_0 \cos(\omega_\theta t) \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan:

- $a\ddot{Z}$  : *Inertial force*
- $b\dot{Z}$  : *Damping force*
- $cZ$  : *Restoring force*
- $F_0 \cos(\omega_\theta t)$  : *Exciting force*

*Surge* adalah gerakan osilasi translasi pada arah sumbu longitudinal (sumbu x), Secara umum persamaan gerakan surge suatu bangunan apung pada gelombang reguler adalah:

$$a\ddot{X} + b\dot{X} + cX = F_0 \cos(\omega_\theta t) \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

- $a\ddot{X}$  : *Inertial force*
- $b\dot{X}$  : *Damping force*
- $cX$  : *Restoring force*
- $F_0 \cos(\omega_\theta t)$  : *Exciting force*

*Sway* merupakan gerak translasi pada bangunan terapung dengan sumbu y sebagai pusat gerak. Persamaan umum bangunan apung pada kondisi *swaying* adalah:

$$a\ddot{Y} + b\dot{Y} + cY = F_0 \cos(\omega_\theta t) \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan:

- $a\ddot{Y}$  : *Inertial force*
- $b\dot{Y}$  : *Damping force*
- $cY$  : *Restoring force*
- $F_0 \cos(\omega_\theta t)$  : *Exciting force*

*Rolling* merupakan gerak rotasional dengan sumbu X sebagai pusat geraknya. Gerakan ini akan berpengaruh terhadap *initial velocity* sehingga perlu dilakukan perhitungan terhadap momen gaya. Rumus umum dari persamaan gerak akibat *rolling* ialah:

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_0 \cos(\omega_{\theta} t) \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

- $M_0$  : Amplitudo momen eksitasi (m)
- $\omega_{\theta}$  : Frekuensi gelombang *encountering* (hz)
- $a\ddot{\phi}$  : *Inertial moment*
- $b\dot{\phi}$  : *Damping Moment*
- $c\phi$  : *Restoring Moment*
- $M_0 \cos(\omega_{\theta} t)$  : *Exciting moment*

*Pitching* merupakan gerak rotasional dengan sumbu Y sebagai pusat gerak. Karena gerak *pitching* akan berpengaruh terhadap kesetimbangan posisi, maka momen yang terjadi akibat *pitching* perlu diperhitungkan. Rumus umum dari persamaan gerakan akibat *pitching* adalah:

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos(\omega_{\theta} t) \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

- $M_0$  : Amplitudo momen eksitasi (m)
- $\omega_{\theta}$  : Frekuensi gelombang *encountering* (hz)
- $a\ddot{\theta}$  : *Inertial moment*
- $b\dot{\theta}$  : *Damping Moment*
- $c\theta$  : *Restoring Moment*
- $M_0 \cos(\omega_{\theta} t)$  : *Exciting moment*

Gerak *yaw* merupakan gerak rotasional pada sumbu Z sebagai pusat gerak. Sama halnya seperti pada gerak *rolling* dan *pitching*, gerak ini pun akan berpengaruh terhadap kesetimbangan struktur, sehingga perlu memperhitungkan momen gaya. Persamaan umum untuk *yawing* ialah:

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_0 \cos(\omega_{\theta} t) \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan :

- $M_0$  : Amplitudo momen eksitasi (m)
- $\omega_0$  : Frekuensi gelombang *encountering* (hz)
- $a\phi$  : *Inertial moment*
- $b\phi$  : *Damping Moment*
- $c\phi$  : *Restoring Moment*
- $M_0 \cos(\omega_0 t)$  : *Exciting Moment*

### 2.2.5 Spektra Gelombang

Spektra gelombang merupakan grafik kepadatan energi yang termuat dalam suatu gelombang acak. Salah satu model spektra yang diajukan oleh Pierson Morkowitz (1964) dan masih secara luas digunakan. Aplikasi umum dari satu parameter spektrum gelombang Pierson Morkowitz dibatasi oleh fakta jika kondisi laut kadang dijangkau secara penuh situasi dikembangkan. Pengembangan dari laut juga dibatasi oleh *fetch*. Secara luas program pengukuran gelombang, diketahui sebagai *Joint North Sea Wave Project* (JONSWAP) yang berasal dari laut utara. Dari analisa dari pengukuran data JONSWAP spektrum diturunkan. Perumusan spektrum JONSWAP mewakili angin dengan batasan *fetch*. Spektrum gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson- Morkowitz yang disesuaikan dengan kondisi laut yang ada. Persamaan spektrum JONSWAP menurut Djatmiko (2012) dapat ditulis sesuai dengan persamaan berikut:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[ -1.25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma^{\exp \left[ \frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\tau \omega_0^2} \right]} \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan:

$$\alpha = 0.0076(X_0)^{-0.22}$$

$\alpha = 0.0081$ , jika panjang X tidak diketahui

$$X_0 = \frac{gX}{U_w^2}$$

$\gamma$  = Parameter ketinggian atau peakedness parameter, yang harganya dapat bervariasi antara 1.0 sampai dengan 7.0. Untuk Laut Utara mempunyai harga 3.3

$\tau$  = Parameter bentuk atau shape parameter

$\tau = 0.07$  jika  $\omega \leq \omega_0$

$\tau = 0.09$  jika  $\omega \geq \omega_0$

$$\omega_0 = 2 \pi \left( \frac{g}{u_\omega} \right) (X_0)^{-0.33}$$

Formulasi spectra JONSWAP akhir-akhir ini banyak dipakai dalam perancangan dan analisa bangunan lepas pantai yang dioperasikan di Indonesia. Hal ini cukup dapat dimengerti karena perairan Indonesia di mana kebanyakan bangunan lepas pantai untuk kegiatan migas dioperasikan adalah perairan kepulauan atau tertutup. Namun dari sejumlah kajian, untuk perairan Indonesia disarankan memakai parameter yang lebih kecil, sekitar 2.0 sampai 2.5. Hal ini pada intinya adalah untuk mengurangi dominasi energi yang dikontribusikan oleh frekuensi gelombang tertentu saja (Djarmiko, 2012). Persamaan Spektra JONSWAP di atas menggunakan input *fetch* dan kecepatan angin. Berikut ini merupakan Persamaan spektrum JONSWAP yang menggunakan input tinggi gelombang signifikan dan periode. Persamaannya adalah sebagai berikut (Djarmiko dan Sujantoko, 2003):

$$S(\omega) = 155 \frac{H_s^2}{T^4 \omega^4} \exp \left( -\frac{944}{T^4 \omega^4} \right) \gamma^\alpha \dots\dots\dots (2.9)$$

## 2.2.6 Response Amplitude Operator (RAO)

*Response Amplitude Operator* (RAO) adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. Hal ini dikarenakan RAO adalah alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur.

Menurut Djarmiko (2012), respon gerakan RAO terbagi menjadi dua yaitu respon gerakan RAO untuk gerakan translasi dan respon gerakan RAO untuk gerakan rotasi. RAO untuk gerakan translasi terdiri dari *surge*, *sway*, dan *heave* ( $k = 1, 2, 3$  atau  $x, y, z$ ) yang merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakannya dibanding dengan amplitudo gelombang (dalam satuan panjang) dengan persamaan sebagai berikut:

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} (m/m) \dots\dots\dots (2.10)$$

RAO untuk gerakan rotasi terdiri dari *roll*, *pitch*, dan *yaw* ( $k = 4, 5, 6$  atau  $\theta, \Phi, \psi$ ) yang merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi dengan kemiringan gelombang (hasil kali antara angka gelombang dengan amplitudo gelombang insiden) dengan persamaan sebagai berikut:

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{\left(\frac{\omega^2}{g}\right) \zeta_0} (rad/rad) \dots\dots\dots(2.11)$$

### 2.2.7 Spektra Respons

Respon spektrum didefinisikan sebagai *response energy density* pada struktur akibat gelombang, dalam hal ini berupa *energy density spectrum*. Pada sistem linier, respon spektra didapat dengan mengkuadratkan *RAO* yang kemudian dikalikan dengan spektra gelombang (Chakrabarti, 1987), yang dapat ditulis sebagai persamaan berikut ini:

$$S_R(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan:

- $S_R$  : spektrum respon ( $m^2\text{-sec}$ )
- $S_\omega$  : spectrum gelombang ( $m^2\text{-sec}$ )
- $RAO(\omega)$  : *transfer function*
- $\omega$  : frekuensi gelombang ( $rad/s$ )

Spektrum respon dapat digunakan untuk mengetahui besarnya respon maksimum yang mungkin terjadi dalam suatu rentang waktu tertentu. Spektra respon didefinisikan sebagai *respon energy density* pada struktur akibat gelombang, dalam hal ini berupa *energy density spectrum*. Respon *extreme* maksimum yang terjadi dengan tingkat probabilitas dari suatu kejadian sebesar 62,3% dapat dicari dengan persamaan (Chakrabarti, 1987) sebagai berikut:

$$\xi_\xi = \left[ 2 \ln \left\{ \frac{6\theta^2 T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \sqrt{m_0} \dots\dots\dots(2.13)$$

Sedangkan respon *extreme* maksimum yang mungkin terjadi pada saat proses perancangan dapat dicari berdasarkan persamaan di atas dengan

mempertimbangkan faktor peluang terlampauinya suatu kejadian  $\alpha$  sebagai berikut

$$\xi_{\xi} = \left[ 2 \ln \left\{ \frac{6\theta^2 T}{2\pi\alpha} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \sqrt{m_0} \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan:

T : lama kejadian badai (sec)

$\alpha$  : kemungkinan kejadian tidak terjadi saat perancangan (1% - 5%)

$m_0$  merupakan luasan di bawah kurva spektrum amplitudo kepadatan energi gelombang dimana luasannya sama dengan varian dari *time history* gelombang sedangkan  $m_2$  merupakan momen spektra kecepatan.

## 2.2.8 Konsep Pembebanan

Dalam menentukan kemampuan struktur lepas pantai, struktur akan dipengaruhi beban yang terjadi pada bangunan tersebut. Menurut Soedjono, J.J. (1999) terdapat 4 beban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bangunan lepas pantai yaitu: beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban kecelakaan (*accidental load*), dan beban lingkungan (*environmental load*)

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat struktur, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan kesatuan dengan struktur tersebut Misalkan: berat struktur, berat peralatan, dan berat permesinan yang digunakan ketika struktur tidak beroperasi

Beban hidup adalah adalah beban yang terjadi selama struktur melakukan fungsinya dan tidak berubah dari mode operasi satu ke mode operasi lainnya atau semua beban tidak tetap, kecuali beban angin, beban gempa dan pengaruh khusus lainnya. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat diperhitungkan berdasarkan perhitungan sistematis. Contoh beban hidup adalah beban pengoperasian mesin dan peralatan yang digunakan selama operasi struktur, termasuk didalamnya operasi *crane*.

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak terduga sebelumnya pada bangunan lepas pantai. Beban kecelakaan biasanya terjadi karena putusnya tali tambat (rantai jangkar), putusnya tali control, tabrakan dengan kapal dan lain-lain.

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena adanya pengaruh lingkungan dimana struktur dioperasikan. Beban lingkungan yang terjadi pada struktur *aquaculture* ini adalah beban gelombang dan beban arus.

### 2.2.9 *Boundary Condition dan Meshing*

*Boundary condition* atau kondisi batas sangatlah penting dalam proses analisis suatu struktur. *Boundary condition* sendiri dapat terbagi menjadi 3 bagian utama, yaitu *inertial*, *loads*, dan *supports*. *Boundary condition* tipe *inertial* diantaranya yaitu percepatan, *standard earth gravity*, dan kecepatan rotasi. Kemudian *Boundary condition* tipe *loads* diantaranya yaitu tekanan (*pressure*), gaya, momen, dan lain-lain. Sedangkan *boundary condition* tipe *support* diantaranya adalah *fixed supports*, *displacement*, dan lain-lain. *Boundary condition* sendiri dapat kita aplikasikan sesuai dengan analisis yang akan kita lakukan. Seperti contohnya pada sebuah geometri struktur, *boundary condition* dapat diterapkan pada struktur sebagai *body*, *face*, *edge*, maupun titik sesuai dengan kondisi analisis yang ingin kita lakukan. Pembuatan *mesh* sangat diperhatikan ukuran *mesh* dan jenis *mesh* yang digunakan, semakin kecil ukuran *mesh* yang digunakan pada model, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, tetapi membutuhkan daya komputasi dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan *mesh* yang memiliki ukuran yang lebih besar. Oleh karena itu, besar ukuran *mesh* harus diatur sedemikian rupa sehingga diperoleh hasil yang teliti.

### 2.2.10 Tegangan Normal

Tegangan normal timbul akibat beban aksial yang berada di titik pusat material. Persamaan umum untuk menghitung tegangan aksial adalah

$$\sigma = \frac{S_x}{A} \dots\dots\dots(2.15)$$

dengan:

A = Luas penampang

S<sub>x</sub> = Beban aksial

Selain akibat beban aksial, tegangan aksial dapat diakibatkan juga oleh momen lentur murni akibat kopel M yang terjadi disetiap ujungnya. Tegangan yang diakibatkan dengan adanya momen disebut sebagai *bending stress* atau tegangan lentur.

### 2.2.11 Tegangan Geser

Tegangan geser timbul dari komponen vektor gaya yang parallel terhadap penampang material. Persamaan umum untuk menghitung tegangan geser rata-rata adalah:

$$\tau = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan:

$\tau$  = tegangan geser

F = Gaya yang bekerja

A = Luas penampang material dengan arae parallel terhadap vektor gaya yang bekerja

### 2.2.12 Tegangan Von Mises

Tegangan *von mises* merupakan kombinasi geometris dari semua tegangan, yakni tegangan normal dan tegangan geser, yang bekerja pada bagian tertentu suatu struktur. Tegangan *von mises* berlaku untuk material yang ulet (*ductile*) Jika tegangan *von mises* pada bagian tertentu melebihi yield strength-nya, maka material tersebut akan luluh (*yielding*). Apabila tegangan Von Mises melebihi *ultimate strength*, maka material tersebut akan pecah (*rupture*). Berikut rumusan tegangan *Von Mises* yang akan dibandingkan dengan tegangan ijin maksimum dari *yield strength* suatu material

$$\sigma_{HVM} = \left[ \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan:

$\sigma_{HVM}$  = tegangan *von mises*

$\sigma_x$  = tegangan normal sumbu-x

$\sigma_y$  = tegangan normal sumbu-y

$\tau_{xy}$ = tegangan geser



### 2.2.13 Perhitungan Umur Kelelahan

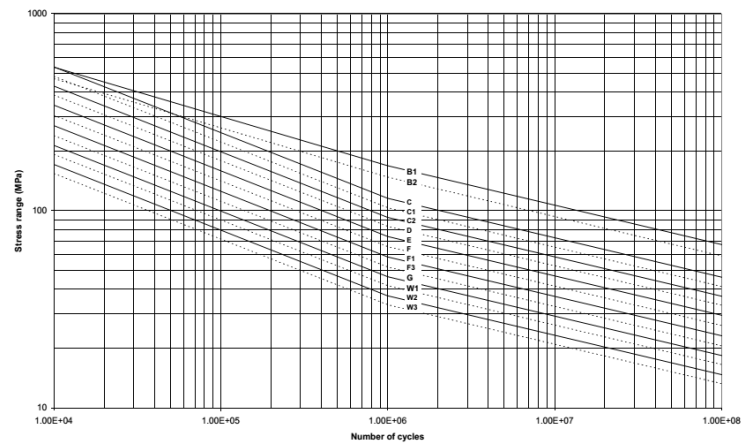
Perkiraan umur kelelahan didasarkan pada beban fluktuasi yang akan diterima struktur selama masa operasi. Sehingga, untuk mengetahui sisa umur kelelahan struktur dapat dilakukan setelah memperoleh informasi kondisi beban yang diterima struktur selama operasi. Sisa umur kelelahan struktur dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Palmgren-Miner, yaitu:

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} \dots\dots\dots(2.18)$$

dengan:

- D : Rasio kerusakan kumulatif.
- M : Total ( $\Sigma$ ) dari interval-interval rentang tegangan.
- $n_i$  : Jumlah *cycle* kolom interval rentang tegangan  $i$  dengan harga  $S_i$  yang sebenarnya terjadi, dari rentang distribusi tegangan jangka panjang akibat beban eksternal.
- $N_i$  : Jumlah *cycle* rentang tegangan dengan harga  $S_i$  yang menyebabkan kegagalan. Harga besaran ini dapat diperoleh dari kurva S-N

Pada struktur *aquaculture*, beban yang mengenai struktur dan peralatan yang bekerja tidak hanya ditinjau dari beban gelombang namun total rasio kerusakan kumulatif yang merupakan penjumlahan dari rasio kerusakan kumulatif beban-beban tersebut. Sehingga tegangan akibat beban-beban yang bekerja dapat diperoleh dengan memasukkan besarnya masing-masing gaya ke dalam *software* ANSYS. Maka setelah didapat tegangan, nilai  $D$  akibat beban-beban dapat dicari. Hubungan antara  $N_i$  dan  $S_i$  dapat diambil dari *fatigue curve* (S-N Curve) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. sedangkan untuk parameternya dapat dilihat di Tabel 2.2.



Gambar 2.8. Contoh Grafik Kurva S-N (DNV, 2010)

Nilai dari  $N_i$  dapat diperoleh dari persamaan:

$$N \cdot S^m = A \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

atau,

$$\log N = \log A - m \log S \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

Tabel 2.2 Parameter Kurva S-N (DNV, 2010)

Table 2-2 S-N curves in seawater with cathodic protection						
S-N curve	$N \leq 10^6$ cycles		$N > 10^6$ cycles	Fatigue limit at $10^7$ cycles*)	Thickness exponent $k$	Stress concentration in the S-N detail as derived by the hot spot method
	$m_1$	$\log \bar{a}_1$	$\log \bar{a}_2$ $m_2 = 5.0$			
B1	4.0	14.917	17.146	106.97	0	
B2	4.0	14.685	16.856	93.59	0	
C	3.0	12.192	16.320	73.10	0.15	
C1	3.0	12.049	16.081	65.50	0.15	
C2	3.0	11.901	15.835	58.48	0.15	
D	3.0	11.764	15.606	52.63	0.20	1.00
E	3.0	11.610	15.350	46.78	0.20	1.13
F	3.0	11.455	15.091	41.52	0.25	1.27
F1	3.0	11.299	14.832	36.84	0.25	1.43
F3	3.0	11.146	14.576	32.75	0.25	1.61
G	3.0	10.998	14.330	29.24	0.25	1.80
W1	3.0	10.861	14.101	26.32	0.25	2.00
W2	3.0	10.707	13.845	23.39	0.25	2.25
W3	3.0	10.570	13.617	21.05	0.25	2.50
T	3.0	11.764	15.606	52.63	0.25 for SCF $\leq 10.0$ 0.30 for SCF $> 10.0$	1.00

\*) see also 2.11

## 2.2.14 Penaksiran Umur Kelelahan Sederhana

Penaksiran umur kelelahan di penelitian ini menggunakan metode simplified. Fungsi distribusi cumulative pada stress range dapat diekspresikan dengan persamaan:

$$F_S S = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{S}{\delta} \right)^\gamma \right], S > 0 \dots\dots\dots(2.21)$$

dengan:

$S$  = variable acak menunjukkan stress range

$\gamma$  = parameter bentuk Weibull

$\delta$  = parameter skala Weibull

*Cumulative damage* dapat diekspresikan pada persamaan sebagai berikut:

$$D = \frac{N_T \delta^m}{A} \Gamma \left( \frac{m}{\gamma} + 1 \right) \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana  $N_T$  merupakan design life pada cycles fungsi gamma  $\Gamma(x)$  didefinisikan sebagai:

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt \dots\dots\dots(2.23)$$

Maka, cumulative damage dapat diekspresikan pada persamaan:

$$DM_i = \sum_{i=1}^k \frac{\alpha_i}{K_2} \frac{S_{Ri}^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \mu_i \Gamma \left( 1 + \frac{m}{\xi} \right) \dots\dots\dots(2.24)$$

dengan,

$$\mu_i = 1 - \frac{\left\{ \gamma \left( 1 + \frac{m}{\xi} \cdot v_i \right) - v_i^{-\frac{\Delta m}{\xi}} \gamma \left( 1 + \frac{m + \Delta m}{\xi} \cdot v_i \right) \right\}}{\Gamma \left( 1 + \frac{m}{\xi} \right)} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$v_i = \left( \frac{S_q}{S_{Ri}} \right)^\xi \ln N_R \dots\dots\dots(2.26)$$

$$N_L = \frac{f_o U}{4 \log L} \dots\dots\dots(2.27)$$

dengan:

$N_L$  = Jumlah siklus untuk rencana umur desain

$K_2$  = konstanta sesuai kurva S-N

$S_{Ri}$  = *stress range*

$S_q$  = *stress range* pada perpotongan 2 segmen pada kurva S-N

$m$  = *slope*

$\Delta m$  = perubahan slope pada segmen atas-bawah pada kurva S-N

$N_R = 1000$ , jumlah siklus

$\xi = \text{parameter distribusi tegangan} = 1,4 - 0,2 \cdot \alpha \cdot L^{0.2}$

$\mu_i = \text{koefisien tegangan}$

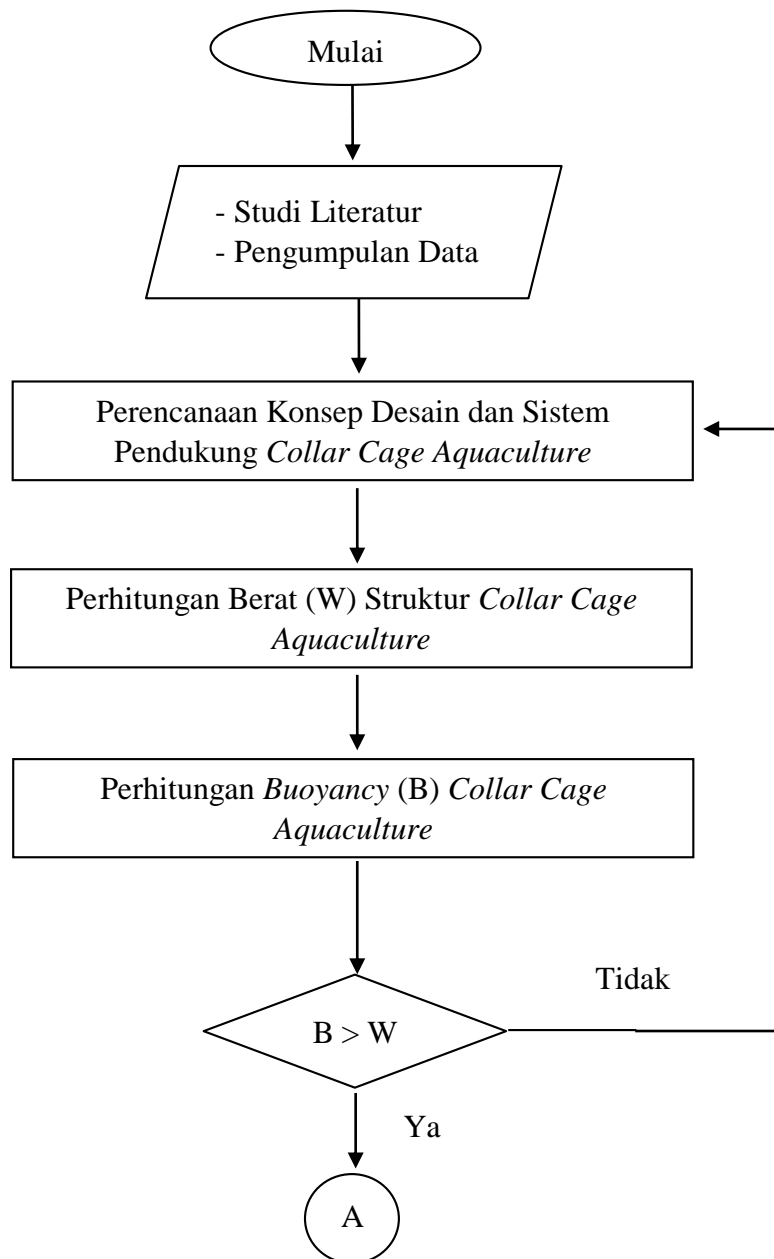
$\Gamma(x) = \text{fungsi gamma}$

### BAB III

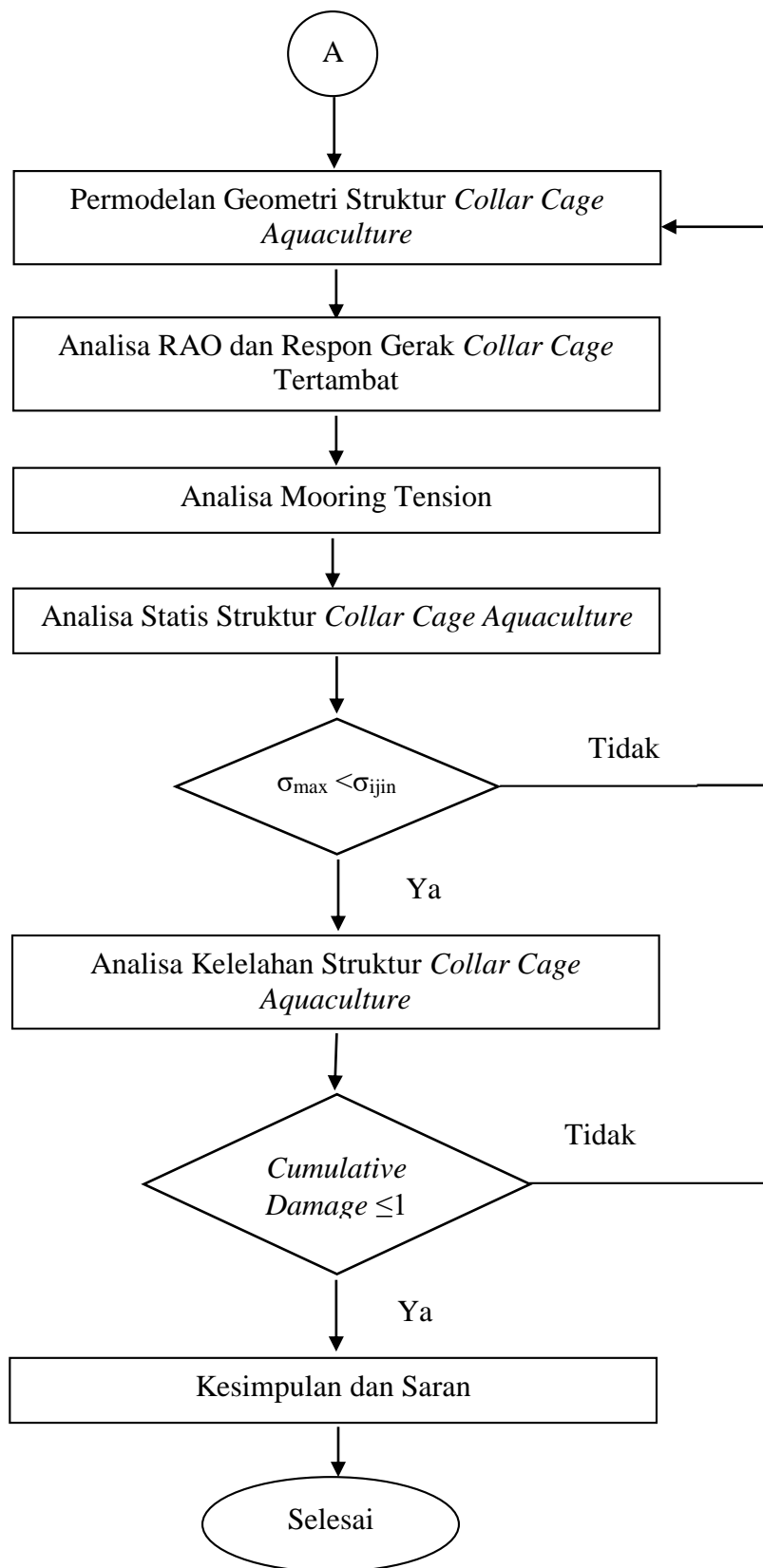
## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penjelasan mengenai alur penelitian yang digunakan dalam tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

### 3.2 Prosedur Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.1, prosedur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Mencari serta mempelajari buku, jurnal, ataupun laporan tugas akhir terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang sama atau mirip dengan tugas akhir ini. Literatur tersebut digunakan sebagai bahan-bahan referensi dan sumber teori-teori yang diperlukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

2. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan berupa data lingkungan dan data material yang akan digunakan dalam desain struktur *collar cage aquaculture*.

3. Perencanaan Konsep Desain dan Sistem Pendukung

Pada tahapan ini dilakukan perencanaan terhadap konsep desain *aquaculture* agar struktur dapat menyesuaikan dengan kondisi dan lingkungan yang ada. Parameter yang direncanakan antara lain: bentuk *aquaculture*, cara kerja *aquaculture*, sistem tambat yang dipakai, dan dimensi struktur.

4. Perhitungan Berat dan *Buoyancy* Struktur *Collar Cage Aquaculture*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan berat dan *bouyancy* struktur untuk mengetahui apakah desain yang telah ditentukan memiliki gaya angkat yang lebih besar dibanding gaya beratnya.

5. Permodelan Geometri Struktur *Collar Cage Aquaculture*

Permodelan geometri struktur dilakukan pada konsep desain yang telah dirancang sebelumnya untuk dibuat menjadi model numerik. Pada Tugas Akhir ini permodelan struktur dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Autodesk Inventor.

6. Analisa RAO dan Respon Gerak *Collar Cage* Tertambat

Analisa RAO dan respon gerak *collar cage* tertambat dilakukan untuk mengetahui perilaku dan respon struktur tertambat akibat adanya beban

gelombang. Arah beban gelombang yang dianalisa datang dari 3 arah yaitu  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$ . Analisa ini dilakukan dengan melakukan *frequency based analysis* pada perangkat lunak ANSYS AQWA.

#### 7. Analisa Mooring Tension

Analisa *mooring tension* dilakukan untuk mengetahui besar *tension* pada *mooring lines* akibat beban gelombang. Hasil dari analisa ini akan dianggap sebagai gaya yang bekerja pada struktur akibat beban gelombang. Analisa ini dilakukan dengan melakukan *time based analysis* pada perangkat lunak ANSYS AQWA dalam 3 arah pembebanan yaitu  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$ .

#### 8. Analisa Statis Struktur Collar Cage Aquaculture

Analisa statis struktur dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur *collar cage aquaculture* saat terkena beban maksimum. Beban maksimum dipilih berdasarkan *mooring tension* maksimum yang mengenai struktur secara langsung. Parameter kekuatan yang dipakai dalam analisa ini adalah tegangan von mises maksimum yang bekerja pada struktur. Analisa ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ANSYS Mechanic.

#### 9. Analisa Kelelahan Struktur Collar Cage Aquaculture

Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap umur kelelahan struktur akibat pembebanan serta beban siklis yang terjadi. Analisa ini dilakukan dengan menggunakan metode deterministik dengan meninjau *cumulative damage* struktur melalui persamaan Palmgren-Miner. *Cumulative damage* pada analisa ini dipilih berdasarkan peninjauan pada 5 titik paling kritis. *Cumulative damage* dihitung berdasarkan *principal stress range* yang terjadi pada struktur di setiap kejadian gelombang. *Stress Range* ini nantinya akan dimasukkan ke kurva S-N HDPE untuk mendapatkan parameter N, yaitu jumlah siklus yang dibutuhkan agar struktur mengalami kegagalan.

#### 10. Kesimpulan dan Saran

Setelah semua tahap dilakukan, tahap selanjutnya adalah membuat kesimpulan secara keseluruhan dan saran untuk penelitian selanjutnya



### 3.3 Pengumpulan Data

#### 3.3.1 Data Lingkungan

Data lingkungan yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah perairan lepas Laut Selatan Indonesia tepatnya di Laut Timor. Data lingkungan diambil dari DNV OS E301 yaitu data laut Timor dengan kondisi tidak badai seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan 3.2

Tabel 3.1 Data Lingkungan 100 Tahunan Laut Timor

Gelombang	
Hs	4.8 m
Tp	11.5 s
Angin	
16.6 m/s	
Arus	
1.1 m/s	

Tabel 3.2 Data Metaocean Laut Timor (1 tahunan)

Wave Height Range (m)	Wave Period (s)	Cycle
0.0-0.5	2.45	3761605
0.5-1.0	4.2	2846859
1.0-1.5	4.61	929956
1.5-2.0	4.9	234490
2.0-2.5	5.13	69334
2.5-3.0	5.32	26974
3.0-3.5	5.48	11108
3.5-4.0	5.62	4762
4.0-4.5	5.75	1711
Total		7886799

### 3.3.2 Data Material

Material utama yang digunakan dalam desain *collar cage aquaculture* ini adalah *High Density Poly Ethylene* (HDPE) dengan sifat mekanis seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

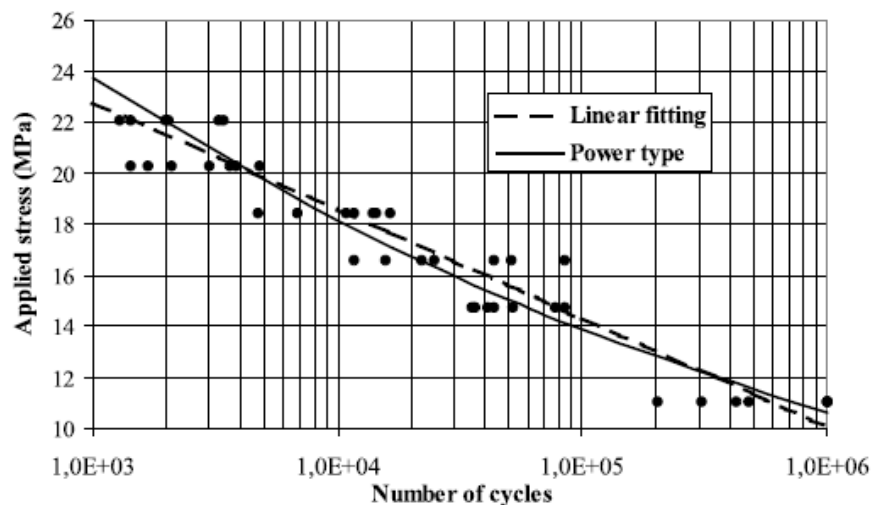
Tabel 3.3 Sifat Mekanis *High Density Poly Ethylene* (HDPE)

<i>Density</i> (g/cm <sup>3</sup> )	0.958
<i>Melting Point</i> (°F)	259-267
<i>Poisson Ratio</i>	0.46
<i>Elastic Modulus</i> (GPa)	1.2
<i>Tensile Ultimate Strength</i> (MPa)	31.7
<i>Tensile Yield Strength</i> (MPa)	25
<i>Compressive Yield Strength</i> (MPa)	31.7

Kurva S-N untuk HDPE didapatkan dari hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Khelif dkk. (2008) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Rumus yang berlaku untuk kurva S-N ini adalah:

$$S = 35,6 - 1,85 \ln(N) \dots\dots\dots (3.1)$$

$$N S^{8,6} = 6,7 \times 10^{14} \dots\dots\dots (3.2)$$



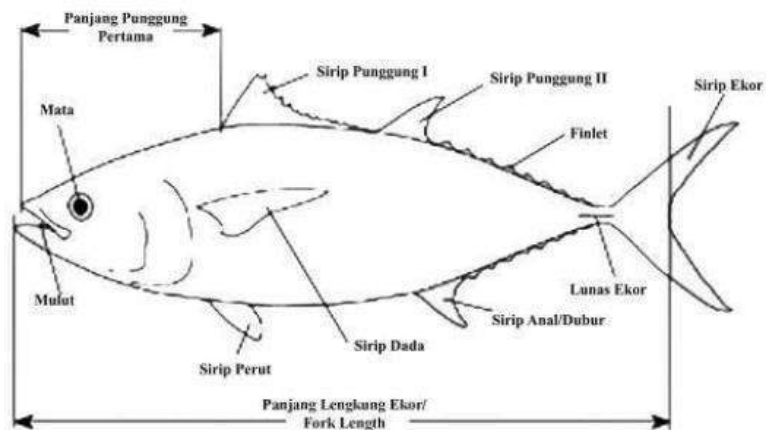
Gambar 3.2 Kurva S-N HDPE (Khelif dkk, 2008)

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

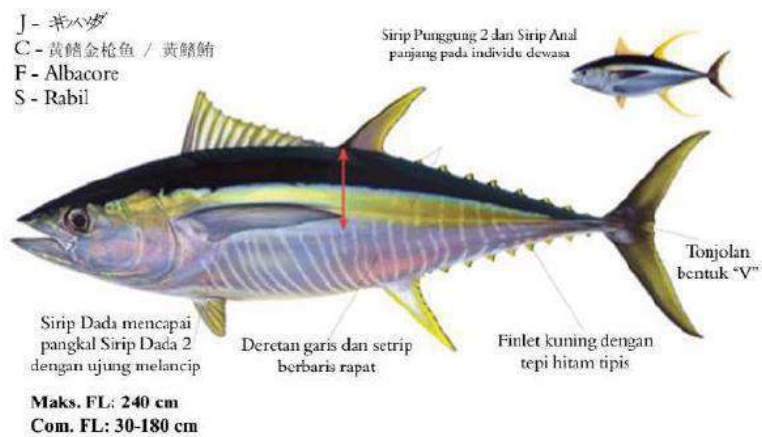
#### 4.1 Skenario Ikan

Pemilihan jenis ikan dilakukan untuk menentukan volume struktur dan *meshing* jaring. Ukuran volume struktur dan *meshing* jaring bergantung pada ukuran ikan yang dipilih untuk dibudidayakan. Ikan yang dipilih untuk dibudidayakan ke dalam struktur *aquaculture* adalah ikan tuna yang notabene memiliki habitat di laut selatan Indonesia. Ikan tuna sendiri terdiri dari beberapa jenis. Jenis ikan tuna yang dipilih untuk dibudidayakan adalah tuna sirip kuning (*Yellowfin Tuna*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Morfologi Ikan Tuna Secara Umum (Baskara, 2017)

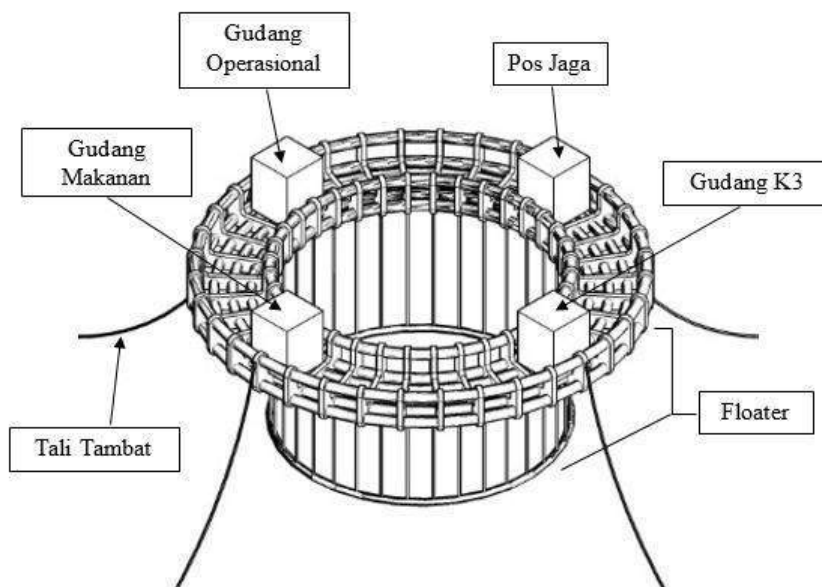
*Yellowfin tuna* (*Thunnus albacares*) merupakan jenis tuna yang berukuran besar. Menurut data yang didapatkan dari *World Wild Fund* (WWF), ikan ini memiliki panjang hingga 2,5 meter dan berat hingga 180kg seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. *Yellowfin tuna* atau yang dikenal juga sebagai ikan madidihang memiliki nilai ekonomi yang sangat tinggi sehingga cocok untuk dibudidayakan. Saat ini *International Union of Conservation of Nature* (IUCN) memberikan status hampir terancam (*near-threatened*) kepada ikan ini, sehingga pembudidayaan ikan tuna sirip kuning juga dapat meningkatkan populasi dan mencegah kepunahannya di masa yang akan datang.



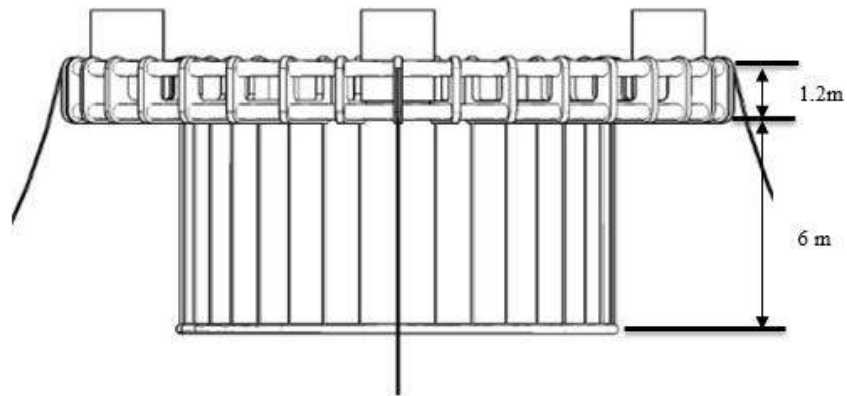
Gambar 4.2 Ikan Tuna Sirip Kuning (Baskara, 2017)

## 4.2 Konfigurasi Struktur

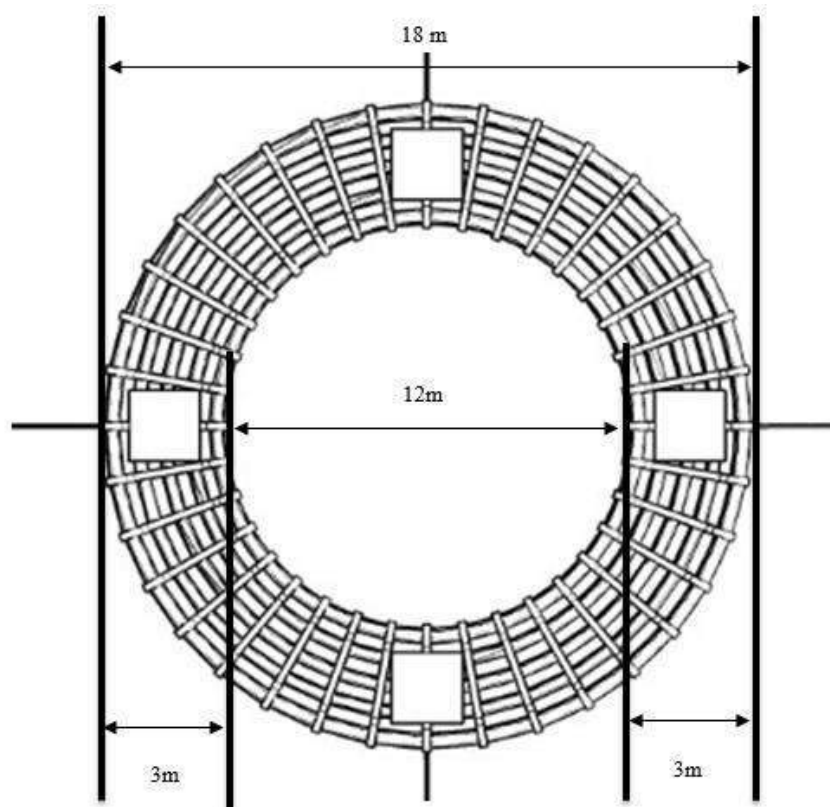
Penentuan konsep desain mengacu pada kondisi lingkungan dan ukuran ikan yang dibudidayakan di struktur *aquaculture* ini. Konsep desain struktur ini sama seperti *collar cage aquaculture* pada umumnya namun dimodifikasi dengan menambahkan lapisan *collar* menjadi lima lapis dan diberikan bangunan atas untuk mengakomodasi kebutuhan operasional di laut lepas. Volume *aquaculture* yang didesain adalah 678 m<sup>3</sup> dengan konfigurasi dan dimensi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3, Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.3 *Collar Cage Aquaculture* Tampak Isometri



Gambar 4.4 *Collar Cage Aquaculture* Tampak Samping



Gambar 4.5 *Collar Cage Aquaculture* Tampak Atas

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa secara umum struktur *collar cage aquaculture* memiliki kedalaman sebesar 6m, tinggi sebesar 1m, diameter dalam sebesar 12m, diameter luar sebesar 18m, dan terdiri dari dua bagian utama yaitu: bangunan atas dan *floaters*.

Bangunan atas merupakan bagian utama struktur yang berfungsi sebagai fasilitas penunjang dalam pengoperasian *collar cage aquaculture*. Dalam desain ini, struktur memiliki 4 buah bangunan atas yang diperuntukkan sebagai fasilitas akomodasi (pos jaga), gudang peralatan operasional, gudang makanan, dan gudang peralatan kesehatan dan keselamatan kerja (K3).

Konstruksi bangunan atas terbuat dari HDPE Sheet. HDPE Sheet yang dipilih adalah *Smooth Surface HDPE Sheet* buatan Shandong Ningjin Xinxing Chemical Co.,Ltd. dengan panjang 4500 mm, lebar 2000 mm, dan tebal 50 mm yang merupakan ukuran standar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. HDPE Sheet ini nantinya akan dipotong dan dirangkai menjadi balok dengan dimensi yang tercantum pada Tabel 4.1



Gambar 4.6 *Smooth Surface HDPE Sheet* (SDXXHG, 2017)

Tabel 4.1 Dimensi Bangunan Atas

<i>Dimension</i>	<i>length</i>	2.000 m
	<i>width</i>	2.000 m
	<i>height</i>	2.500 m
	<i>thickness</i>	0.050 m
<i>Internal Volume</i>		60.68 m <sup>3</sup>
<i>Weight</i>		1.33 ton

*Floater* merupakan bagian utama struktur yang berfungsi sebagai struktur pengapung pada *collar cage aquaculture*. Material yang dipilih untuk *floater* adalah material termoplastik dengan jenis *high-density polyethylene* (HDPE). Jenis HDPE yang dipilih adalah HDPE PE 80 yang spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Spesifikasi HDPE PE 80 (Cardia dan Lovatelli, 2015)

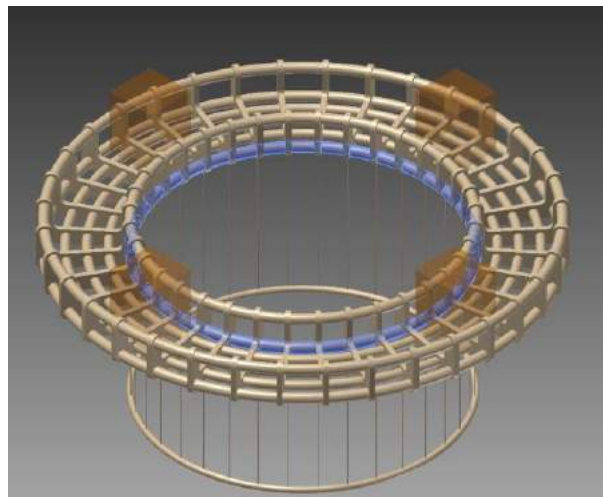
Pipe size Ø (mm)	HDPE PE 80 pipes											
	PN 6.3 SDR 21			PN 10 SDR 13.6			PN 12.5 SDR 11			PN 16 SDR 9		
	T (mm)	W (kg × m)	B (kg × m)	T (mm)	W (kg × m)	B (kg × m)	T (mm)	W (kg × m)	B (kg × m)	T (mm)	W (kg × m)	B (kg × m)
110	-	-	-	8.1	2.6	6.9	10	3.2	6.3	12.3	3.8	5.7
125	-	-	-	9.2	3.4	8.9	11.4	4.1	8.2	14	4.9	7.4
140	-	-	-	10.3	4.2	11.2	12.7	5.1	10.3	15.7	6.1	9.2
160	7.7	3.7	16.4	11.8	5.5	14.6	14.6	6.7	13.4	17.9	8	12.1
180	8.6	4.7	20.7	13.3	7	18.4	16.4	8.5	17	20.1	10.1	15.3
200	9.6	5.8	25.6	14.7	8.6	22.8	18.2	10.4	21	22.4	12.5	18.9
225	10.8	7.3	32.4	16.6	10.9	28.8	20.5	13.2	26.6	25.2	15.9	23.8
250	11.9	9	40.1	18.4	13.5	35.6	22.7	16.3	32.8	27.9	19.5	29.6
280	13.4	11.3	50.2	20.6	16.9	44.6	25.4	20.4	41.2	31.3	24.4	37.1
315	15	14.3	63.6	23.2	21.3	56.6	28.6	25.7	52.2	35.2	30.9	47
355	16.9	18.1	80.8	26.1	27	71.9	32.2	32.6	66.3	39.7	39.3	59.6
400	19.1	23	102.6	29.4	34.2	91.4	36.2	41.5	84.1	44.7	49.8	75.8
450	21.5	29	130	33.1	43.4	115.6	40.9	52.5	106.4	50.3	63	96
500	23.9	35.9	160.4	36.8	53.5	142.8	45.4	64.8	131.5	-	-	-

Dalam desain ini, *floater* terdiri dari beberapa komponen yaitu: 5 lapis *Collar* (*Inner Collar*, *Outer Collar*, *Middle Collar A*, *Middle Collar B*, dan *Middle Collar C*), *Sinker*, 2 sisi *Handrail* (*Outer* dan *Inner*), *Bracket*, Tali *Sinker*, dan Jaring.

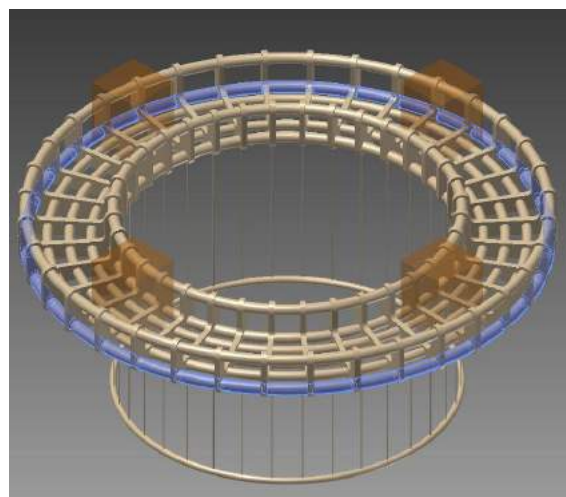
*Collar* merupakan bagian utama dari struktur *collar cage aquaculture* yang berfungsi sebagai penopang sekaligus pengapung struktur secara keseluruhan. *Collar* didesain untuk dapat menopang beban hidup (*live load*) dan bangunan atas serta bertahan dari beban lingkungan yang ada. Dalam desain ini *collar* terdiri dari 5 buah *collar* dengan dimensi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Posisi masing-masing *collar* terhadap struktur secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9, Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.

Tabel 4.3 Dimensi *Collar*

Nama	Diameter (m)	Spesifikasi	ODPipa (mm)	Wall Thickness (mm)
Inner Collar	12	HDPE PE 80 SDR 13.6	400	29.4
Outer Collar	18		400	29.4
Middle Collar A	13.5		355	26.1
Middle Collar B	15		355	26.1
Middle Collar C	16.5		355	26.1

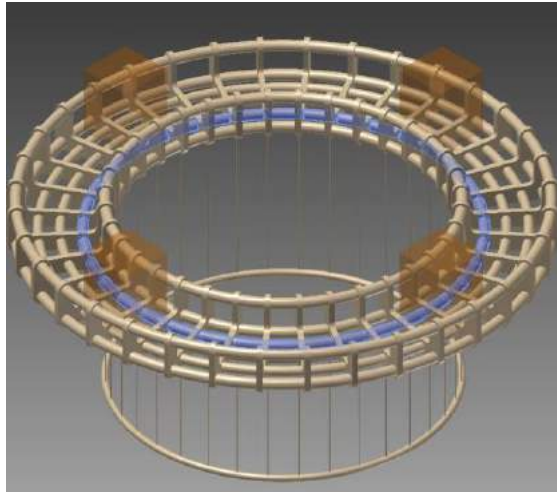


Gambar 4.7 Letak *Inner Collar*

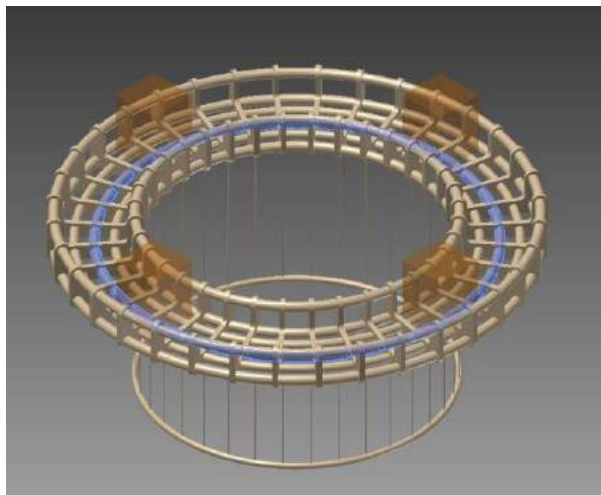


Gambar 4.8 Letak *Outer Collar*

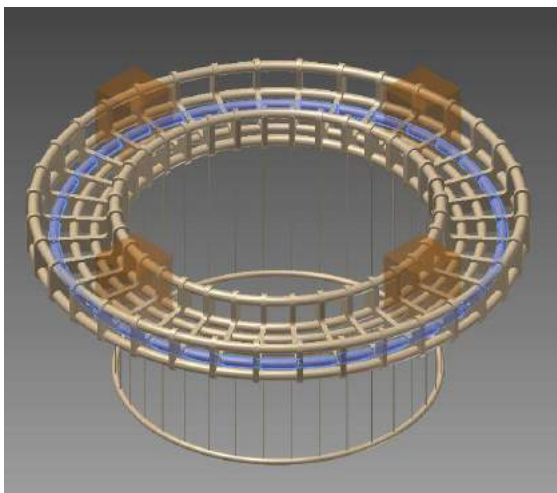




Gambar 4.9 Letak *Middle Collar A*



Gambar 4.10 Letak *Middle Collar B*

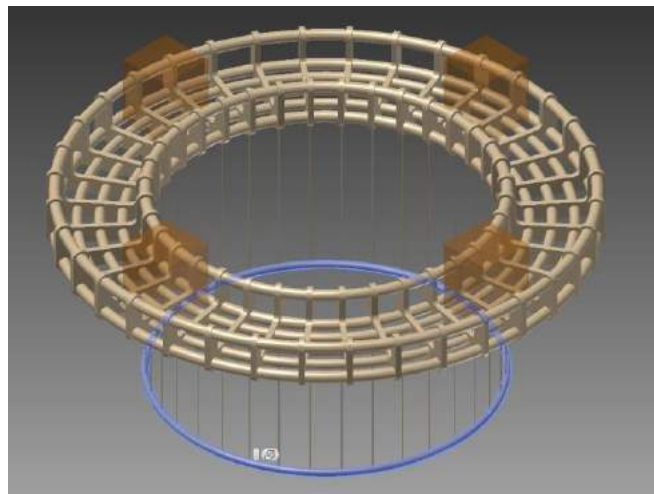


Gambar 4.11 Letak *Middle Collar C*

Komponen vital lain dari struktur *collar cage aquaculture* adalah *sinker*. *Sinker* berfungsi sebagai pemberat pada jaring sehingga benruk *cage bag* dan volume struktur dapat dipertahankan. Dalam desain ini, *sinker* terdiri dari pipa *sinker* yang serupa dengan pipa *collar* namun di dalamnya diberi pemberat yang terbuat dari *wire rope* dengan spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4. Posisi masing-masing *collar* terhadap struktur secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.12

Tabel 4.4 Dimensi dan Spesifikasi *Sinker*

Pipa Sinker	Diameter (m)	12
	Spesifikasi	HDPE PE 80 SDR 13.6
	ODPipa (mm)	250
	Wall Thickness (mm)	18.4
Pemberat	Panjang (m)	37.7
	Spesifikasi	6x36 RRL EIPS IWRC
	Diameter <i>wire rope</i> (mm)	83

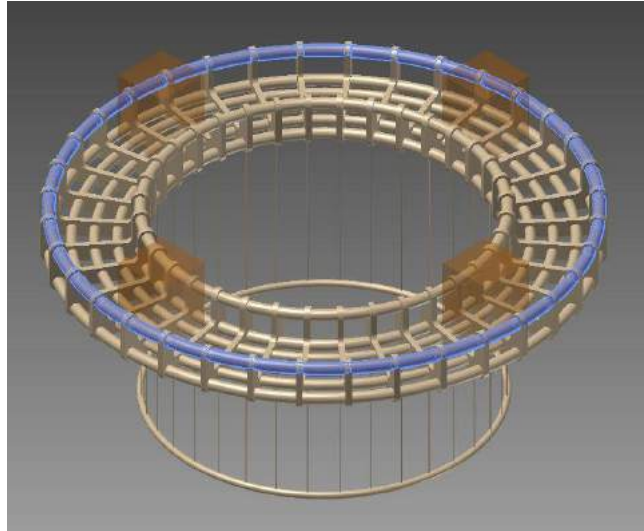


Gambar 4.12 Letak *Sinker*

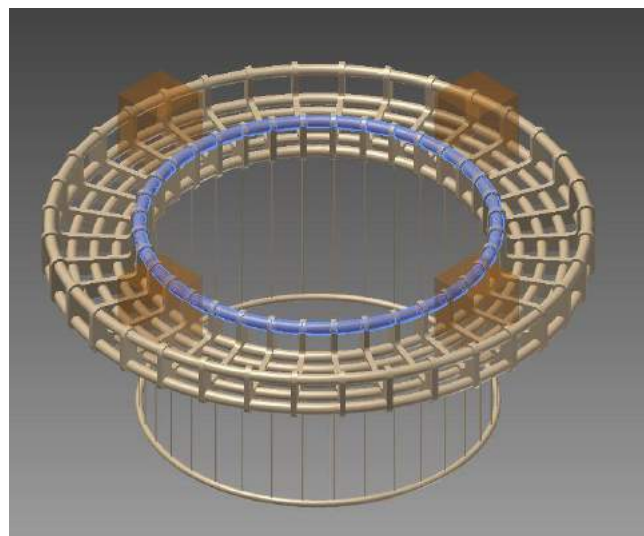
Dalam desainnya, sturktur ini dirancang untuk dapat mengakomodasi aktivitas personel di laut lepas dengan mempertimbangkan unsur kesehatan dan keselamatan kerja (K3). Oleh sebab itu struktur ini dilengkapi dengan *handrail* di kedua sisi (*outer* dan *inner*) sebagai pengaman utama. Dimensi *handrail* dapat dilihat pada Tabel 4.5, sedangkan posisi *handrail* terhadap struktur secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.

Tabel 4.5 Dimensi *Handrail*

Nama	Diameter (m)	Spesifikasi	OD Pipa (mm)	Wall Thickness (mm)
Inner Handrail	12	HDPE PE 80 SDR 13.6	250	18.4
Outer Handrail	18		250	18.4

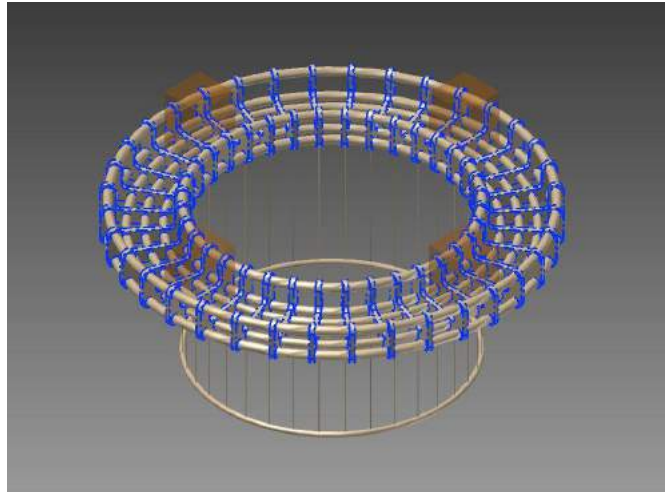


Gambar 4.13 Letak *Outer Handrail*

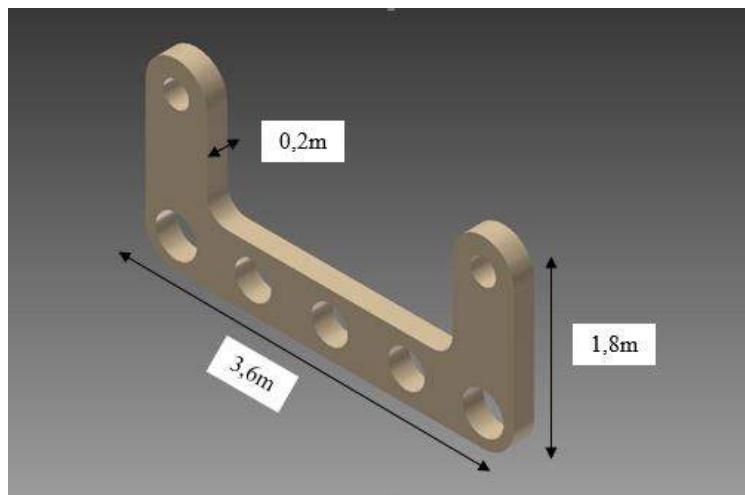


Gambar 4.14 Letak *Inner Handrail*

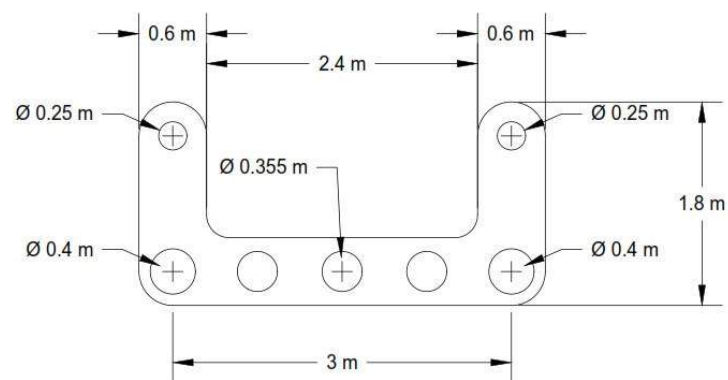
*Bracket* merupakan elemen struktur yang berfungsi sebagai pengikat dan penguat pipa-pipa *collar cage aquaculture*. Selain itu *barcket* juga berfungsi sebagai pengikat *hdandrail* dan titik *attachment* untuk *sinker*. Bentuk, dimensi, dan letak bracket dapat dilihat pada Gambar 4.15, Gambar 4.16 dan Gambar 4.17.



Gambar 4.15 Letak *Bracket*

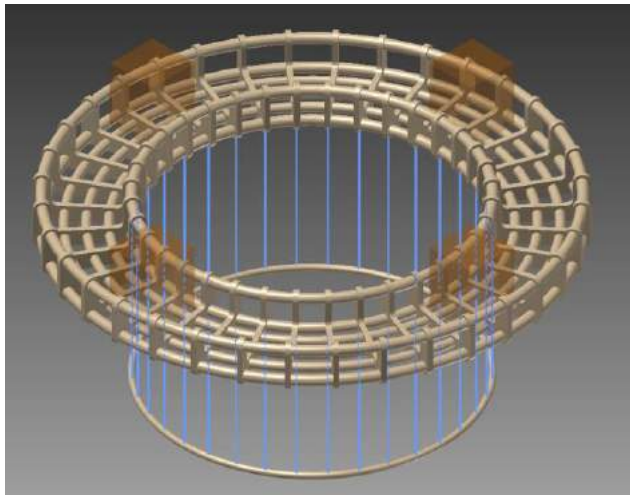


Gambar 4.16 Detail *Bracket* Tampak Isometri



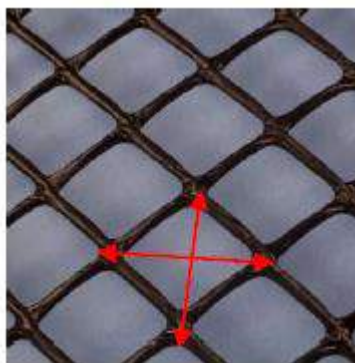
Gambar 4.17 Detail Penampang *Bracket*

Tali *sinker* merupakan bentuk merupakan penghubung antara *sinker* dan floater. Tali ini juga berfungsi sebagai penegar tambahan untuk jaring supaya jaring tidak mengalami deformasi yang berlebihan. Tali *sinker* terbuat dari material *polypropylene* dengan diameter 0.04 m. Posisi tali terhadap struktur secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.18.

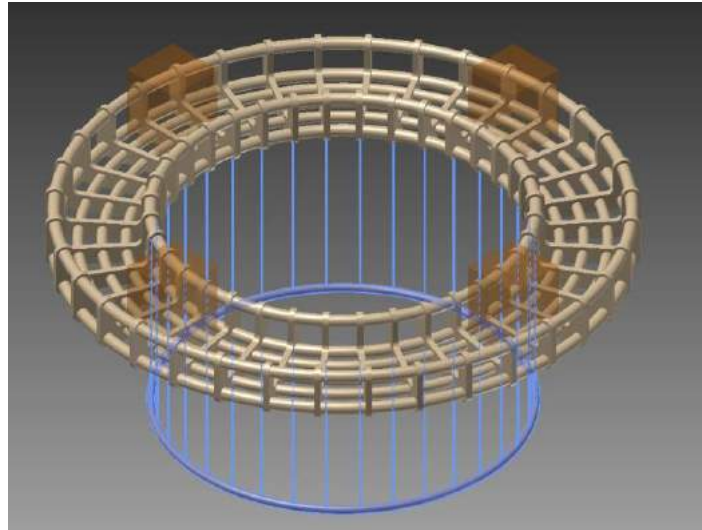


Gambar 4.18 Letak Tali *Sinker*

Jaring yang dipilih ditentukan dengan ukuran ikan pada saat dimasukkan. Jaring yang dipilih merupakan jaring dengan bahan *Black Polyethylene* dengan *meshing* seperti pada Gambar 4.19 dan mengacu pada desain pasaran yang sudah tersedia. Ukuran jaring yang dipilih disesuaikan dengan ukuran ikan yang akan dibudidayakan, dalam kasus ini jaring yang dipilih memiliki ukuran *meshing* 1.25 x 1.25 in dengan PMSF 120 lbs/1000 sq ft. Lokasi areal yang diselimuti jaring dapat dilihat pada Gambar 4.20



.Gambar 4.19 *Meshing* Jaring



Gambar 4.20 Areal Jaring

### 4.3 Perhitungan Berat dan Buoyancy

Perhitungan berat dan *buoyancy* dilakukan untuk mengetahui apakah struktur *collar cage aquaculture* berada pada kondisi terapung atau tidak. Struktur dikatakan terapung apabila memiliki *buoyancy* yang lebih besar daripada beratnya. Pada desain ini, semua komponen struktur memberikan kontribusi terhadap berat struktur sedangkan hanya struktur yang tercelup yang memberikan kontribusi terhadap *buoyancy*. Apabila berat struktur lebih besar dari *buoyancynya*, maka struktur berada dalam kondisi tenggelam dan perlu dilakukan perancangan ulang pada struktur agar dapat beroperasi dengan aman.

Karena *draft* struktur tidak diketahui, maka dalam perhitungan berat dan *buoyancy* diasumsikan seluruh bagian *collar* (*Inner Collar*, *Outer Collar*, *Middle Collar A*, *Middle Collar B*, dan *Middle Collar C*) tenggelam terlebih dahulu. Asumsi ini didasarkan pada kondisi *draft* struktur maksimum yang diijinkan untuk bisa beroperasi. Apabila *buoyancy* lebih besar daripada berat struktur, maka *draft* struktur sebenarnya lebih kecil daripada *draft* struktur maksimum yang diijinkan sehingga memenuhi syarat untuk dapat beroperasi. Berikut ini merupakan perhitungan berat dan *buoyancy*.

Perhitungan berat struktur dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7, sedangkan perhitungan *buoyancy* dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.6 Perhitungan Berat Bangunan Atas

Komponen	Berat Satuan	Jumlah	Berat total
Konstruksi	1.3 ton	4	5.3 ton
Live Load (Personel)	0.1 ton	4	0.4 ton
Peralatan operasional	0.2 ton	1	0.2 ton
Peralatan K3	0.2 ton	1	0.2 ton
Makanan	0.2 ton	1	0.2 ton
SubTotal - 1			6.3 ton

Tabel 4.7 Perhitungan Berat *Floater*

Komponen	Berat (kg)	Berat (ton)
Inner Collar	1289.31	1.29
Outer Collar	1933.96	1.93
Middle Collar A	1145.11	1.15
Middle Collar B	1272.35	1.27
Middle Collar C	1399.58	1.40
Pipa Sinker	508.94	0.51
Pemberat pada Sinker	1094	1.09
Inner Handrail	508.94	0.51
Outer Handrail	763.41	0.76
Bracket	18518.53	18.52
Tali Sinker	253.25	0.25
Jaring	198.79	0.20
Sub Total -2		28.89

Berat Total : Sub Total 1 + Sub Total 2

: 6.3 ton + 28.79

: 35.12 ton



Tabel 4.8 Perhitungan *Buoyancy*

Komponen	Buoyancy (kg)	Buoyancy (ton)
Inner Collar	3445.70	3.45
Outer Collar	3049.39	3.05
Middle Collar A	3388.21	3.39
Middle Collar B	3388.21	3.39
Middle Collar C	3727.03	3.73
Pipa Sinker	1342.09	1.34
Bracket	19938.55	19.94
Tali	278.22	0.28
Jaring	214.03	0.21
Total Buoyancy		38.77

Floating Condition : Total Buoyancy – Total Berat  
: 38.77 ton – 35.12  
: 3.65 ton

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa dalam kondisi *draft* maksimum, struktur memiliki *buoyancy* yang lebih besar dari berat struktur sehingga dapat disimpulkan bahwa *draft* struktur secara global lebih kecil daripada *draft* maksimum yang diijinkan sehingga memenuhi syarat untuk beroperasi.

Berdasarkan hasil perhitungan *floating condition* dengan asumsi *draft* maksimum, *draft* struktur sebenarnya dapat dihitung dengan mengurangi *draft* maksimum dengan *draft* pada kondisi massa air yang dipindahkan sama dengan hasil perhitungan *floating condition*. Luas permukaan yang tercelup air ( $A_{wl}$ ) adalah 15.7078 m<sup>2</sup>. Berikut ini merupakan perhitungan *draft* struktur sebenarnya.

$$\rho_{water} \times A_{wl} \times t = M_{air}$$

$$1.025 \text{ ton/m}^3 \times 15.7078 \text{ m}^2 \times t = 3.65 \text{ ton}$$

$$t = 0.22082 \text{ m}$$



Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa *draft* struktur sebenarnya adalah 0.22082 m di bawah *draft* maksimum atau 6.22082 m.

Selain perhitungan *draft* struktur, dilakukan pula perhitungan *floating condition* pada komponen jaring. Hal ini dilakukan untuk memastikan apakah jaring bisa dipertahankan bentuknya selama masa operasi sehingga volume *aquaculture* tidak berkurang. Tidak seperti perhitungan sebelumnya, kriteria perhitungan berat dan *buoyancy* pada jaring dikatakan memenuhi syarat apabila *buoyancy* yang berlaku pada jaring lebih kecil daripada beratnya. Komponen yang terlibat dalam perhitungan berat dan *buoyancy* jaring adalah *sinker*, tali jaring, dan juga jaring itu sendiri. Perhitungan berat dan *buoyancy* jaring dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Perhitungan Berat dan *Buoyancy* Jaring

Komponen	Berat (ton)	Buoyancy (ton)	Floating Condition (ton)
Pipa Sinker	0.51	1.34	0.83
Pemberat Sinker	1.09	0	-1.09
Tali Jaring	0.25	0.28	0.02
Jaring	0.20	0.21	0.02
Total			-0.22

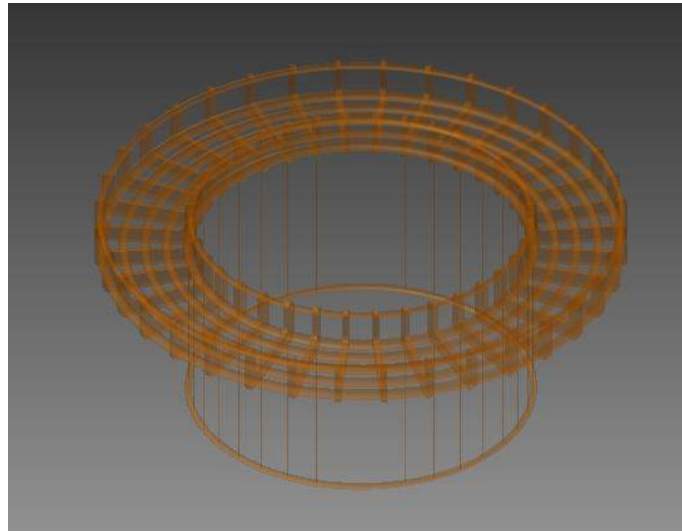
Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa jaring memiliki *floating condition* yang bernilai negatif karena beratnya lebih besar daripada buoyancynya sehingga dapat disimpulkan bentuk jaring dapat dipertahankan dan memenuhi syarat untuk beroperasi.

#### 4.4 Permodelan Struktur

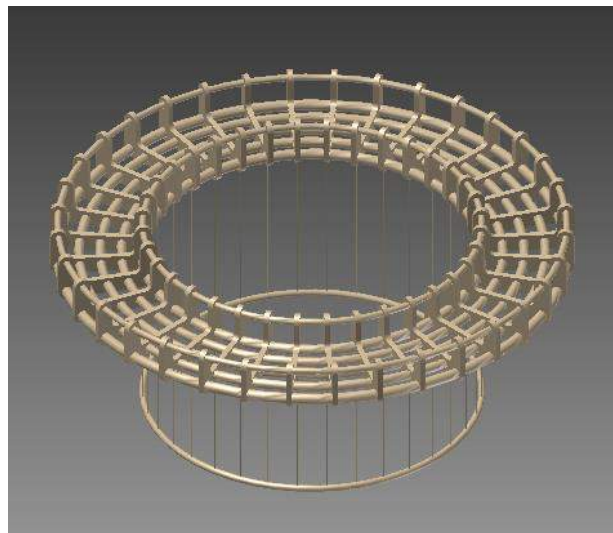
Pemodelan struktur *collar cage aquaculture* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor. Struktur dimodelkan dalam format gambar CAD (*Computer Aided Design*) 3 Dimensi berdasarkan desain yang telah dilakukan sebelumnya. Dalam tugas akhir ini terdapat dua jenis model yang dibuat yaitu model *surface* dan model *solid*.

Model *surface* merupakan model struktur yang hanya memodelkan permukaannya saja. Model *surface* ini nantinya akan dipakai dalam analisa RAO, respons, dan *tension* yang dialami *collar cage aquaculture* tertambat dengan

bantuan perangkat lunak ANSYS AQWA. Model *solid* merupakan model struktur yang memodelkan struktur secara keseluruhan termasuk bagian dalam struktur. Model *solid* ini nantinya akan dipakai dalam analisa statis struktur dengan bantuan perangkat lunak ANSYS Mechanic. Gambar 4.21 dan Gambar 4.22 berturut-turut merupakan model *surface* dan model *solid* tampak isometri pada Autodesk Inventor.



Gambar 4.21 Model *surface* pada Autodesk Inventor



Gambar 4.22 Model *solid* pada Autodesk Inventor

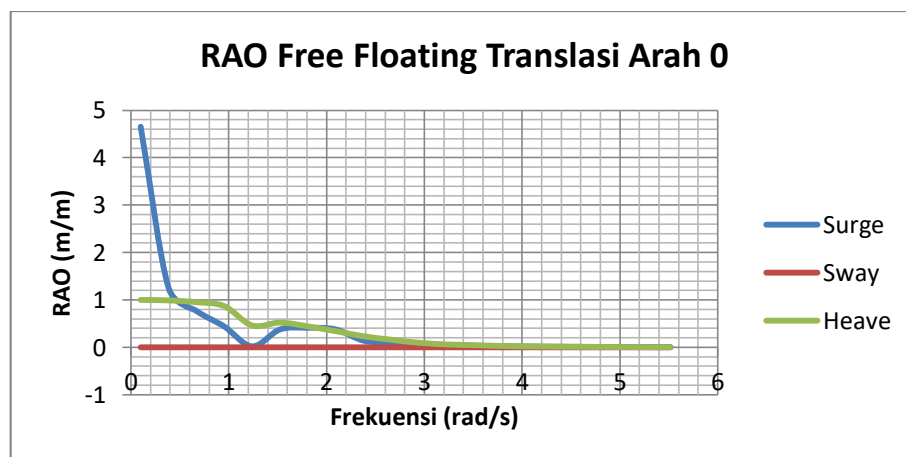
#### 4.4 Response Amplitude Operator (RAO)

Karakteristik gerakan struktur *collar cage aquaculture* dapat diketahui dengan menganalisa RAO struktur tersebut dalam setiap arah pembebanan. Respon gerakan yang terjadi untuk masing-masing arah pembebanan (*heading*) dibagi menjadi 2 yaitu, RAO gerakan translasional dan RAO gerakan rotasional. RAO gerakan translasional meliputi gerakan *surge*, *sway*, dan *heave*, dengan satuan (m/m). Sedangkan untuk RAO gerakan rotasional meliputi gerakan *roll*, *pitch*, dan *yaw*, dengan satuan (deg/m).

Dalam tugas akhir ini, RAO akan dianalisa dalam 3 arah pembebanan yaitu 0, 45, dan 90 derajat karena struktur *collar cage aquaculture* memiliki bentuk yang simetris. Analisa RAO dilakukan pada model *surface* yang telah dibuat sebelumnya. Analisa RAO dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS AQWA menghasilkan dua kondisi RAO, yaitu RAO *free floating* dan RAO tertambat.

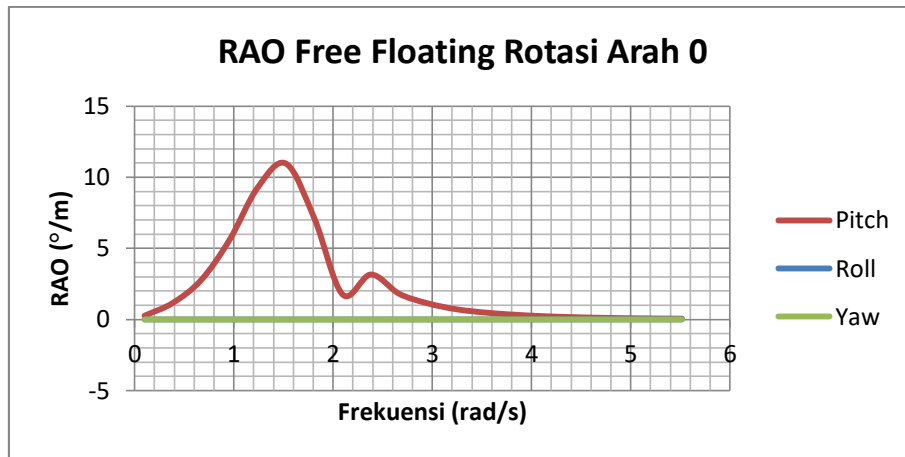
##### 4.4.1 RAO Free Floating

RAO *free floating* merupakan karakteristik gerakan struktur dalam kondisi terapung bebas sebelum ditambat. Grafik RAO *free floating collar cage aquaculture* untuk gerakan translasi dan rotasi dengan *heading angle* 0°, 45°, dan 90° berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.23-4.28



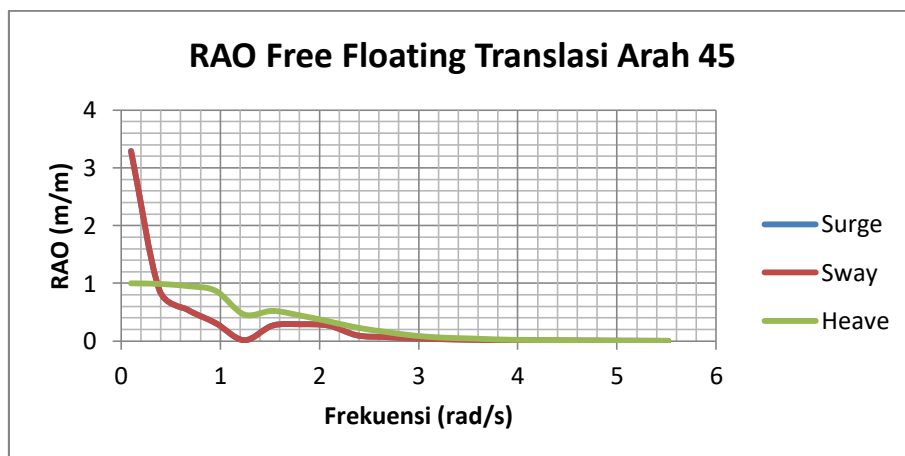
Gambar 4.23 Grafik RAO *Collar Cage Aquaculture* Translasi Kondisi *Free Floating* pada *Heading* 0°

Berdasarkan Gambar 4.23, dalam kondisi *free floating* pada *Heading*  $0^\circ$  struktur memiliki amplitudo RAO *surge* sebesar 4,65 m/m pada frekuensi 0,1 rad/s, amplitudo RAO *heave* sebesar 0,99 m/m pada frekuensi 0,1 rad/s, dan amplitudo RAO *sway* mendekati 0 di setiap frekuensi.



Gambar 4.24 Grafik RAO *Collar Cage Aquaculture* Rotasi Kondisi *Free Floating* pada *Heading*  $0^\circ$

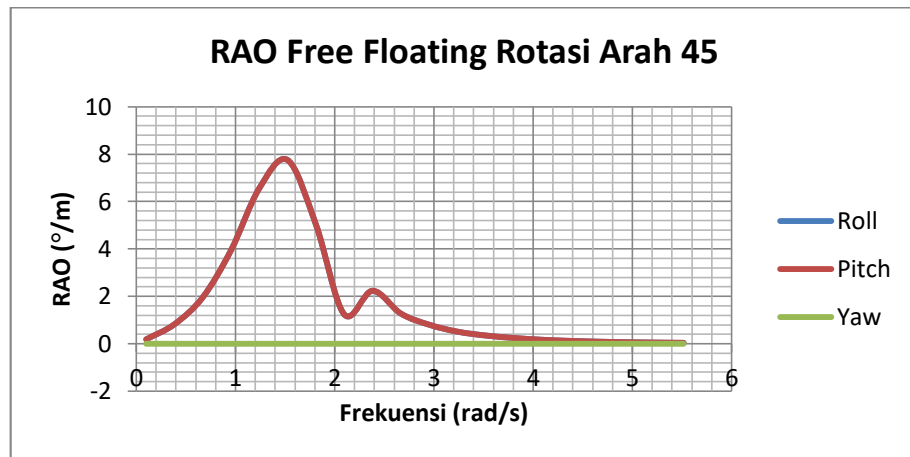
Berdasarkan Gambar 4.24, dalam kondisi *free floating* pada *Heading*  $0^\circ$  struktur memiliki amplitudo RAO *pitch* sebesar 10,9 °/m pada frekuensi 1,52 rad/s dan amplitudo RAO *roll* dan *yaw* yang mendekati 0 di setiap frekuensi.



Gambar 4.25 Grafik RAO *Collar Cage Aquaculture* Translasi Kondisi *Free Floating* pada *Heading*  $45^\circ$

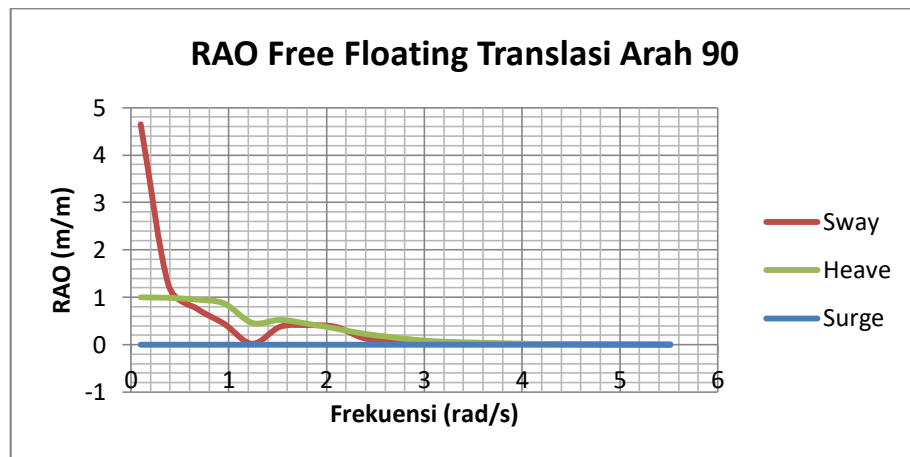
Berdasarkan Gambar 4.25, dalam kondisi *free floating* pada *Heading*  $45^\circ$  struktur memiliki amplitudo RAO *surge* dan *sway* yang identik yaitu sebesar 3,29

m/m pada frekuensi 0,1 rad/s dan amplitudo RAO *heave* sebesar 0,99 m pada frekuensi 0,1 rad/s.



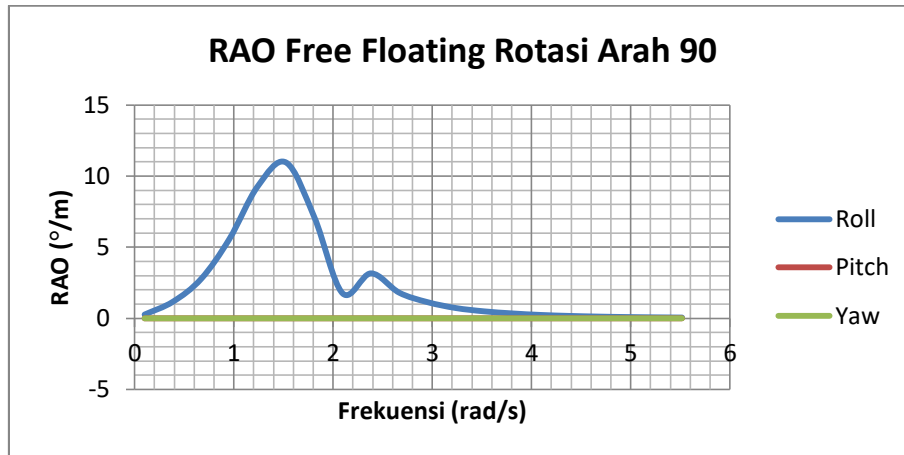
Gambar 4.26 Grafik RAO *Collar Cage Aquaculture* Rotasi Kondisi *Free Floating* pada *Heading* 45°

Berdasarkan Gambar 4.26, dalam kondisi *free floating* pada *Heading* 45° struktur memiliki amplitudo RAO *roll* dan *pitch* yang identik yaitu sebesar 7,75 °/m pada frekuensi 1,52 rad/s dan amplitudo RAO *yaw* mendekati 0 di setiap frekuensi.



Gambar 4.27 Grafik RAO *Collar Cage Aquaculture* Translasi Kondisi *Free Floating* pada *Heading* 90°

Berdasarkan Gambar 4.27, dalam kondisi *free floating* pada *Heading* 90° struktur memiliki amplitudo RAO *sway* sebesar 4,65 m/m pada frekuensi 0,1 rad/s, amplitudo RAO *heave* sebesar 0,99 m/m pada frekuensi 0,1 rad/s, dan amplitudo RAO *surge* mendekati 0 di setiap frekuensi.



Gambar 4.28 Grafik RAO *Collar Cage Aquaculture* Rotasi Kondisi *Free Floating* pada *Heading 90°*

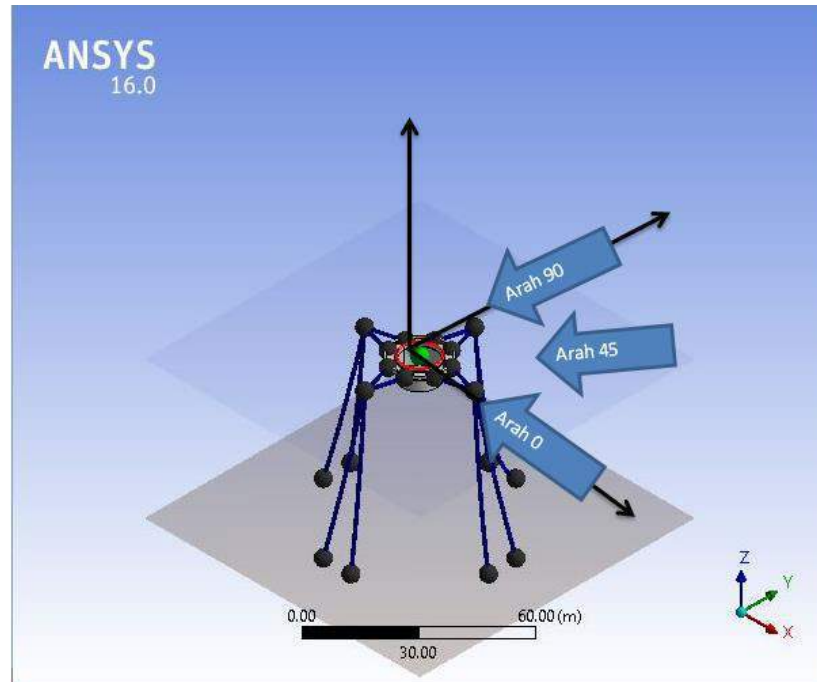
Berdasarkan Gambar 4.28, dalam kondisi *free floating* pada *Heading 90°* struktur memiliki amplitudo RAO *roll* sebesar 10,9 °/m pada frekuensi 1,52 rad/s dan amplitudo RAO *pitch* dan *yaw* yang mendekati 0 di setiap frekuensi.

#### 4.4.2 RAO Tertambat

RAO tertambat merupakan karakteristik gerakan struktur setelah dipasang sistem tambat (*mooring system*). Sistem tambat yang dipakai dalam analisa ini adalah sistem tambat dengan konfigurasi *rectangular array*. Konfigurasi ini dilengkapi dengan 4 *buoy* yang masing-masing memiliki dua *mooring line* untuk menghubungkan struktur dengan *buoy*. Ilustrasi permodelan struktur tertambat dengan ANSYS AQWA dapat dilihat pada Gambar 4.29

Jenis *mooring lines* yang digunakan dalam model ini adalah *nylon SN81-120220-DY* yang spesifikasinya tercantum pada Tabel 4.10. Jenis ini lebih dipilih daripada *wire rope* karena material utama dari *collar cage aquaculture* adalah HDPE yang notabene lebih ringan daripada baja sehingga memerlukan jenis *mooring line* yang lebih ringan.

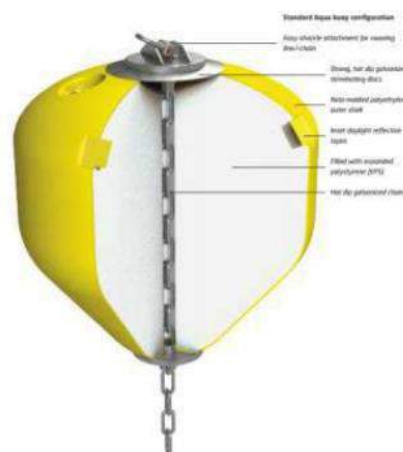
*Buoy* yang digunakan dalam model ini adalah *buoy* khusus yang dirancang khusus untuk struktur *aquaculture*, yaitu *Aqua 850 Offshore Aquaculture Buoy* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.30. Spesifikasi dari *buoy* dapat dilihat pada Tabel 4.11



Gambar 4.29 Permodelan Struktur Tertambat dan *Heading* Gelombang

. Tabel 4.10 Spesifikasi *Nylon SN81-120220-DY*

Parameter	Nilai	Satuan
Mass/Unit Length	8.87	kg/m
Equivalent Cross Section	0.001338	m <sup>2</sup>
Stiffness, EA	22602240	N
Maximum Tension	2501500	N
Equivalent Diameter	120	mm
Life Expectancy	80	years

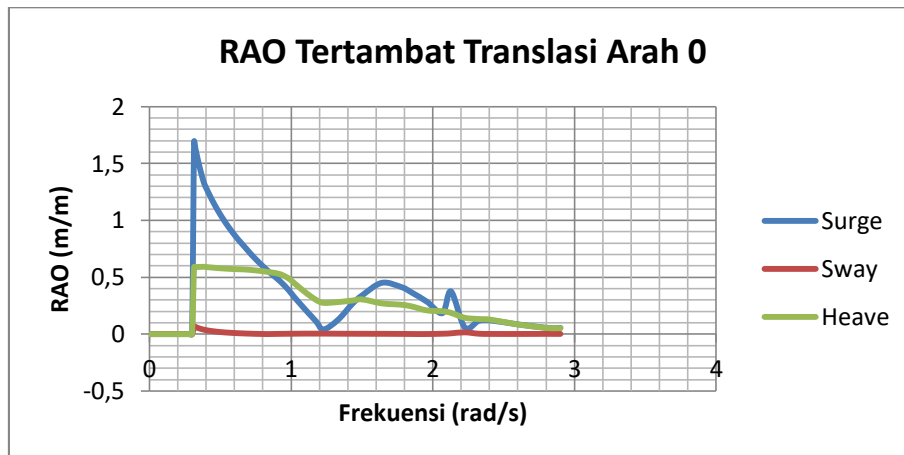


Gambar 4.30 Aqua 850 *Offshore Aquaculture Buoy*

Tabel 4.11 Spesifikasi Aqua 850 *Offshore Aquaculture Buoy*

Parameter	Nilai	Satuan
Volume	873	liter
Weight	73	kg
Net Buoyancy	800	kg
Length	143	cm
Diameter	120	cm

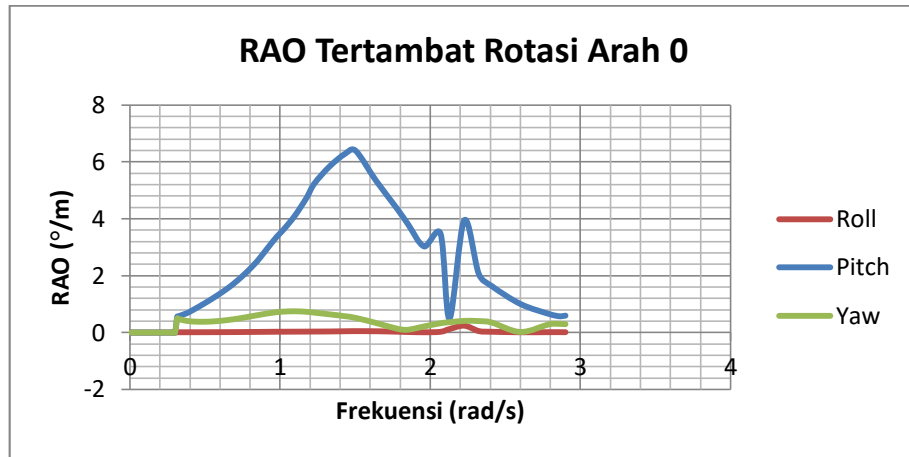
Dari hasil *running software* ANSYS AQWA pada model di atas didapatkan grafik RAO tertambat *collar cage aquaculture* untuk gerakan translasi dan rotasi dengan *heading angle*  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$  berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.31-4.36



Gambar 4.31 Grafik RAO *Collar Cage Aquaculture* Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading*  $0^\circ$

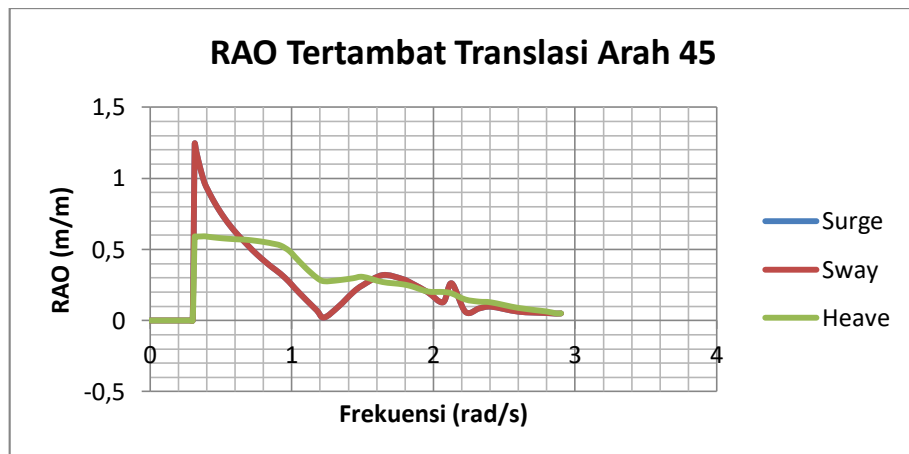
Berdasarkan Gambar 4.31, dalam kondisi tertambat pada *Heading*  $0^\circ$  struktur memiliki amplitudo RAO *surge* sebesar 1,63 m/m pada frekuensi 0,31 rad/s, amplitudo RAO *heave* sebesar 0,59 m/m pada frekuensi 0,34 rad/s, dan amplitudo RAO *sway* mendekati 0 di setiap frekuensi.





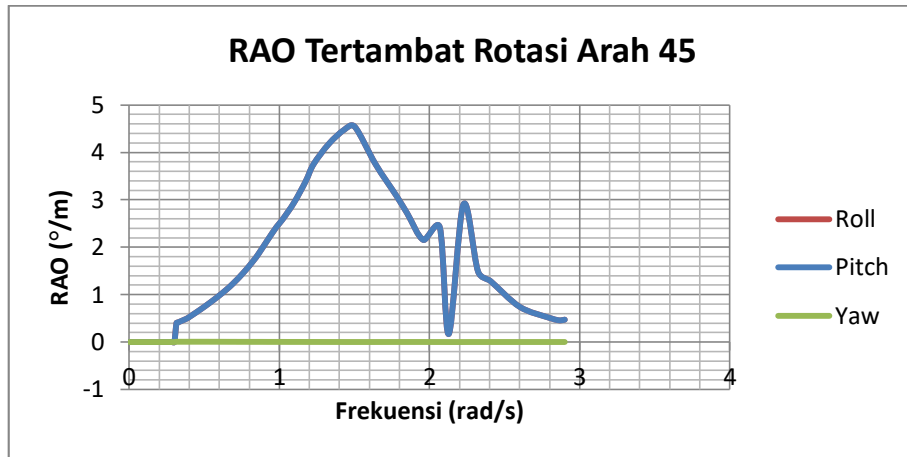
Gambar 4.32 Grafik RAO *Collar Cage Aquaculture* Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 0°

Berdasarkan Gambar 4.32, dalam kondisi tertambat pada *Heading* 0° struktur memiliki amplitudo RAO *pitch* sebesar 6,39 °/m pada frekuensi 1,5 rad/s, amplitudo RAO *yaw* sebesar 0,74 °/m pada frekuensi 1,09 rad/s dan amplitudo RAO *roll* yang mendekati 0 di setiap frekuensi



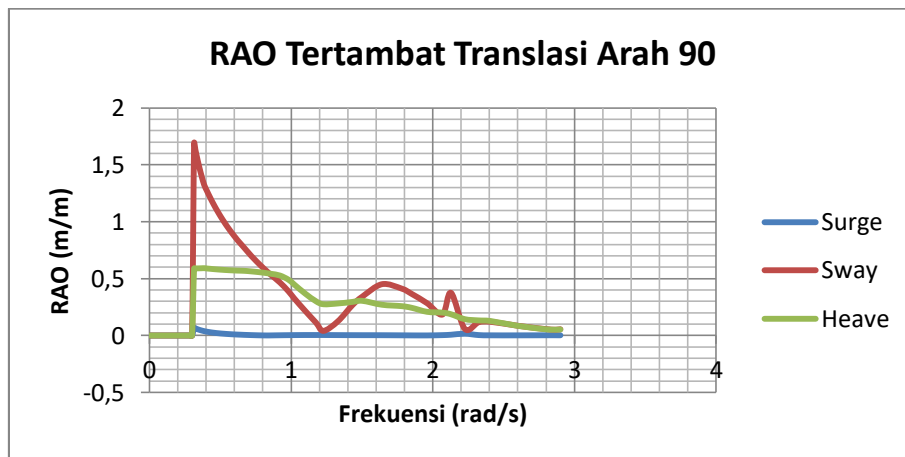
Gambar 4.33 Grafik RAO *Collar Cage Aquaculture* Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 45°

Berdasarkan Gambar 4.33, dalam kondisi tertambat pada *Heading* 45° struktur memiliki amplitudo RAO *surge* dan *sway* yang identik yaitu sebesar 1,24 m/m pada frekuensi 0,31 rad/s dan amplitudo RAO *heave* sebesar 0,59 m/m pada frekuensi 0,31 rad/s.



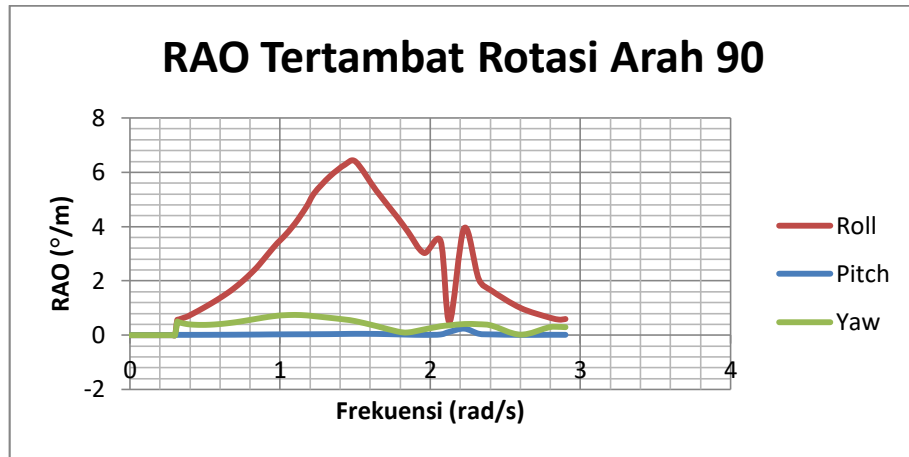
Gambar 4.34 Grafik RAO *Collar Cage Aquaculture* Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 45°

Berdasarkan Gambar 4.34, dalam kondisi tertambat pada *Heading* 45° struktur memiliki amplitudo RAO *roll* dan *pitch* yang identik yaitu sebesar 4,54 °/m pada frekuensi 1,5 rad/s dan amplitudo RAO *yaw* mendekati 0 di setiap frekuensi.



Gambar 4.35 Grafik RAO *Collar Cage Aquaculture* Translasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 90°

Berdasarkan Gambar 4.35, dalam kondisi tertambat pada *Heading* 90° struktur memiliki amplitudo RAO *sway* sebesar 1,63 m/m pada frekuensi 0,31 rad/s, amplitudo RAO *heave* sebesar 0,59 m/m pada frekuensi 0,34 rad/s, dan amplitudo RAO *surge* mendekati 0 di setiap frekuensi.



Gambar 4.36 Grafik RAO *Collar Cage Aquaculture* Rotasi Kondisi Tertambat pada *Heading* 90°

Berdasarkan Gambar 4.36, dalam kondisi tertambat pada *Heading* 90° struktur memiliki amplitudo RAO *roll* sebesar 6,39 °/m pada frekuensi 1,5 rad/s, amplitudo RAO *yaw* sebesar 0,74 °/m pada frekuensi 1,09 rad/s dan amplitudo RAO *pitch* yang mendekati 0 di setiap frekuensi.

Berikut ini merupakan rekapitulasi amplitudo RAO dari setiap variasi pada analisa yang telah dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.12

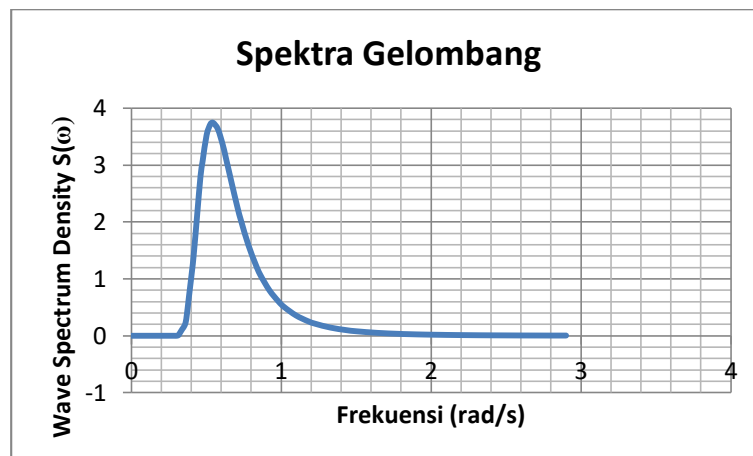
Tabel 4.12 Rekapitulasi Amplitudo RAO *Free Floating* dan RAO Tertambat

Kondisi	Mode Gerak		Unit	0°	45°	90°
Free Floating	Translasi	Surge	m/m	4.65	3.29	0
		Sway	m/m	0	3.29	4.65
		Heave	m/m	0.99	0.99	0.99
	Rotasi	Roll	°/m	0	7.75	10.9
		Pitch	°/m	10.9	7.75	0
		Yaw	°/m	0	0	0
Tertambat	Translasi	Surge	m/m	1.63	1.24	0
		Sway	m/m	0	1.24	1.63
		Heave	m/m	0.59	0.59	0.59
	Rotasi	Roll	°/m	0	4.54	6.39
		Pitch	°/m	6.39	4.54	0
		Yaw	°/m	0.74	0	0.74

Berdasarkan Tabel 4.12 dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan amplitudo RAO dalam kondisi tertambat lebih kecil daripada dalam kondisi *free floating*. Hal ini disebabkan struktur tertahan oleh sistem *mooring* sehingga gerakannya menjadi lebih kecil. Selain itu dari Tabel 4.12 dapat disimpulkan bahwa gerakan yang dominan pada *heading*  $0^\circ$  adalah *surge* dan *pitch* sedangkan gerakan yang dominan pada *heading*  $90^\circ$  adalah *sway* dan *roll*. Pada *heading*  $45^\circ$  tidak ada gerakan yang dominan tapi memiliki besar gerakan *surge* dan *sway* serta *roll* dan *pitch* identik.

#### 4.6 Spektrum Gelombang

Pemilihan spektrum gelombang untuk analisis respon gerak struktur pada gelombang acak adalah berdasarkan kondisi riil laut yang ditinjau. Dari beberapa jenis spectrum gelombang, yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrum JONSWAP. Pemilihan spektrum JONSWAP ini didasarkan pada penentuan yang ada pada Chakrabarti (1987) yang telah dibahas pada BAB II. Perhitungan untuk menentukan nilai  $\gamma$  yang sesuai dengan kondisi lingkungan dibahas dalam Chakrabarti (1987). Berdasarkan DNV OS E 301 periode puncak gelombang ( $T_p$ ) kondisi ekstrem 100 tahunan pada perairan Laut Selatan adalah 11.5 s dan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) adalah 4.8 m. Sehingga  $T_p/\sqrt{H_s} = 5.2$ , maka untuk nilai  $\gamma$  adalah 1. Grafik spektrum gelombang JONSWAP untuk perairan Laut Selatan dimana struktur *collar cage aquaculture* beroperasi tercantum pada Gambar 4.37.

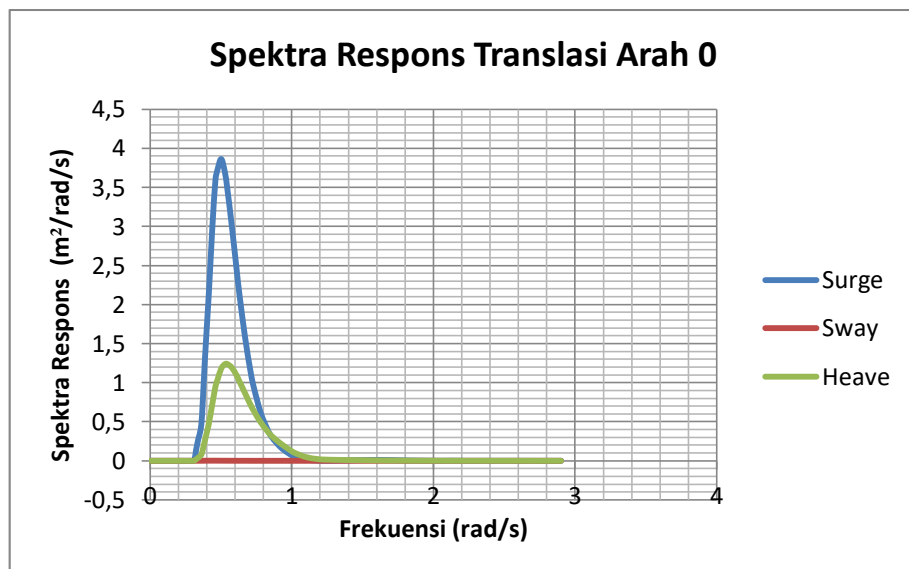


Gambar 4.37 Grafik Spektrum JONSWAP ( $H_s = 4.8$  m,  $T_p = 11.5$  s)

#### 4.7 Respon Spektra dan Respon Struktur

Respon spektra merupakan representasi riil dari respon struktur di gelombang acak. Hal ini dikarenakan gelombang acak merupakan superposisi dari gelombang reguler dalam frekuensi yang berbeda dalam jumlah tak terhingga sehingga respon struktur tidak bisa direpresentasikan oleh RAO saja karena RAO hanya dapat merepresentasikan respon struktur dalam satu kondisi gelombang saja. Untuk mengakomodasi semua kondisi gelombang di gelombang acak maka respon struktur dinyatakan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang atau yang dapat disebut sebagai respon spektra.

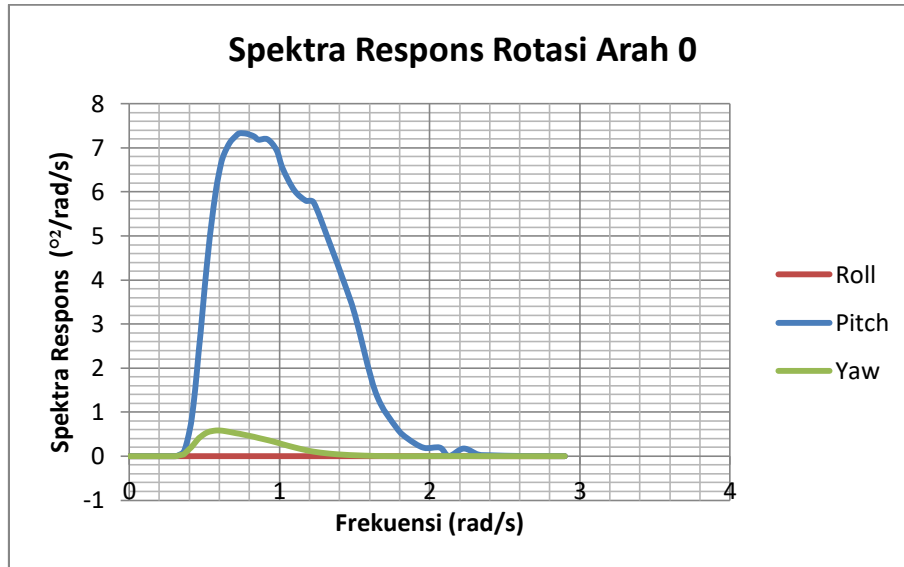
Respon spektra didapatkan dengan cara mengkalikan harga spektra gelombang dengan RAO kuadrat. Grafik respon spektra *collar cage aquaculture* untuk gerakan translasi dan rotasi dengan *heading angle*  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $90^\circ$  berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.38-4.43. Dari kurva tersebut nantinya akan dihitung luasan di bawah kurva ( $m_0$ ) untuk mendapatkan harga-harga stokastik amplitudo spesifik dari setiap mode gerakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.13-4.18.



Gambar 4.38 Grafik Respon Spektra Gerakan Translasi *Heading*  $0^\circ$

Tabel 4.13 Harga-Harga Stokastik Respons Gerakan Translasi *Heading* 0°

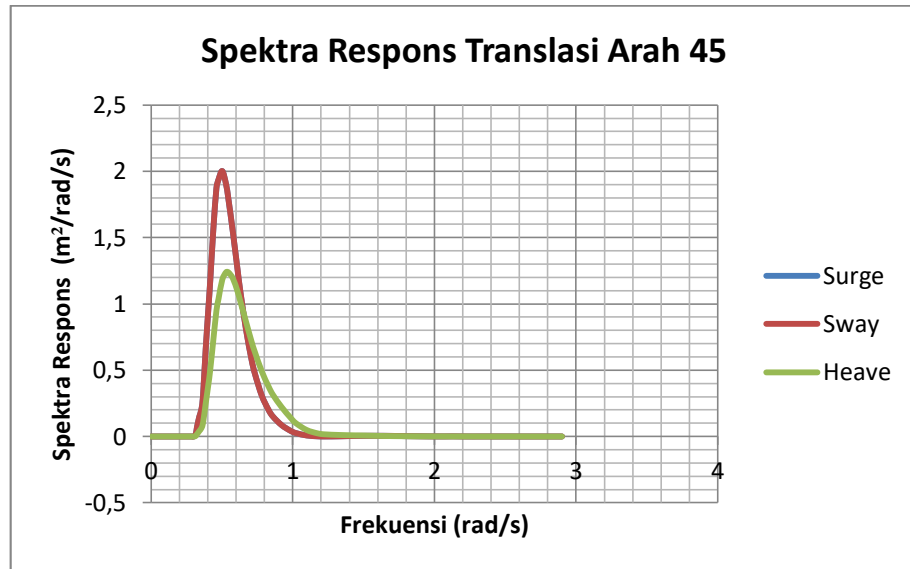
Mode Gerakan	m0	Amplitudo Signifikan (m)	Amplitudo Rata-rata (m)	1/10 Amplitudo (m)
Surge	0.25545	2.021682468	1.263551542	2.58067767
Sway	0	0	0	0
Heave	0.10708	1.308892662	0.818057914	1.670801483



Gambar 4.39 Grafik Respon Spektra Gerakan Rotasi *Heading* 0°

Tabel 4.14 Harga-Harga Stokastik Respons Gerakan Rotasi *Heading* 0°

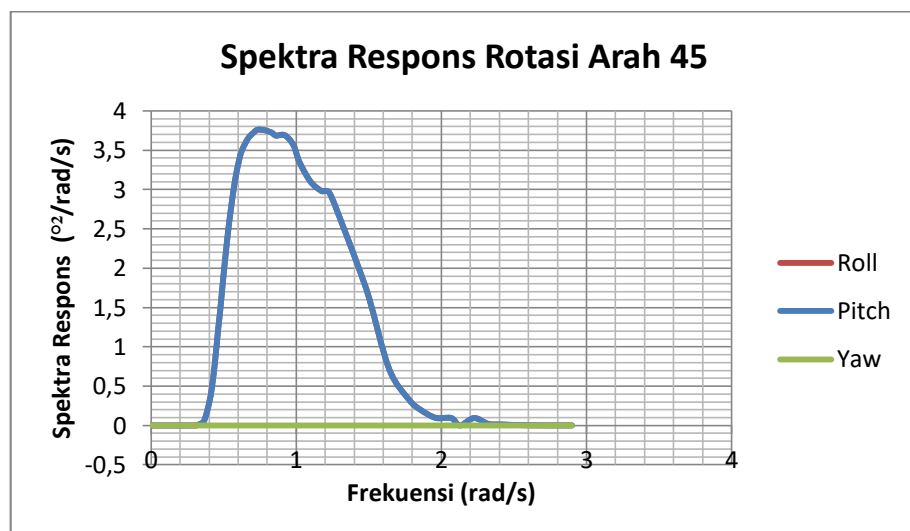
Mode Gerakan	m0	Amplitudo Signifikan (°)	Amplitudo Rata-rata (°)	1/10 Amplitudo (°)
Roll	0	0	0	0
Pitch	1.59318	5.048841451	3.155525907	6.444846113
Yaw	0.0837	1.157238091	0.723273807	1.477214424



Gambar 4.40 Grafik Respon Spektra Gerakan Translasi *Heading* 45°

Tabel 4.15 Harga-Harga Stokastik Respons Gerakan Translasi *Heading* 45°

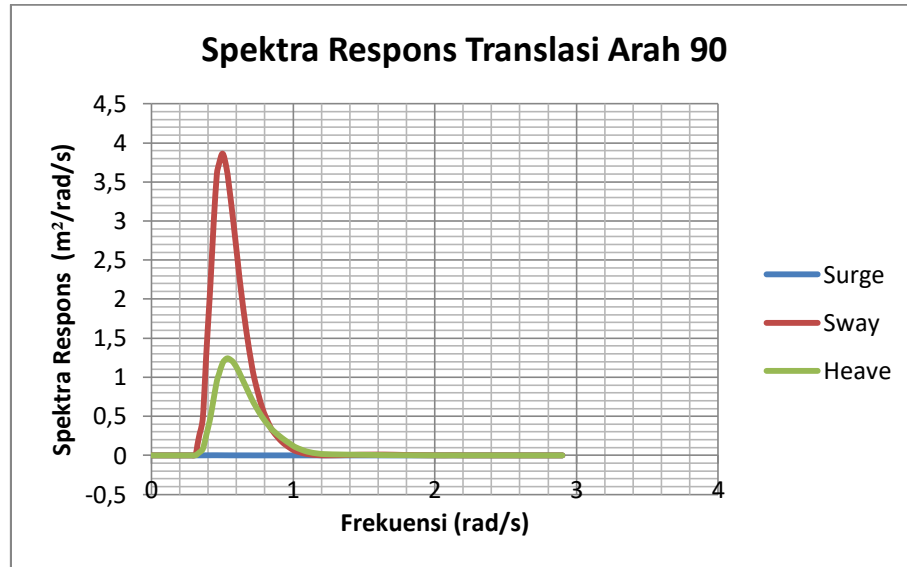
Mode Gerakan	m0	Amplitudo Signifikan (m)	Amplitudo Rata-rata (m)	1/10 Amplitudo (m)
Surge	0.06938	1.053565375	0.65847836	1.344876202
Sway	0.06938	1.053565375	0.65847836	1.344876202
Heave	0.10708	1.308892662	0.818057914	1.670801483



Gambar 4.41 Grafik Respon Spektra Gerakan Rotasi *Heading* 45°

Tabel 4.16 Harga-Harga Stokastik Respons Gerakan Rotasi *Heading* 45°

Mode Gerakan	m0	Amplitudo Signifikan (°)	Amplitudo Rata-rata (°)	1/10 Amplitudo (°)
Roll	0.8072	3.593772391	2.246107745	4.587450457
Pitch	0.8072	3.593772391	2.246107745	4.587450457
Yaw	0	0	0	0

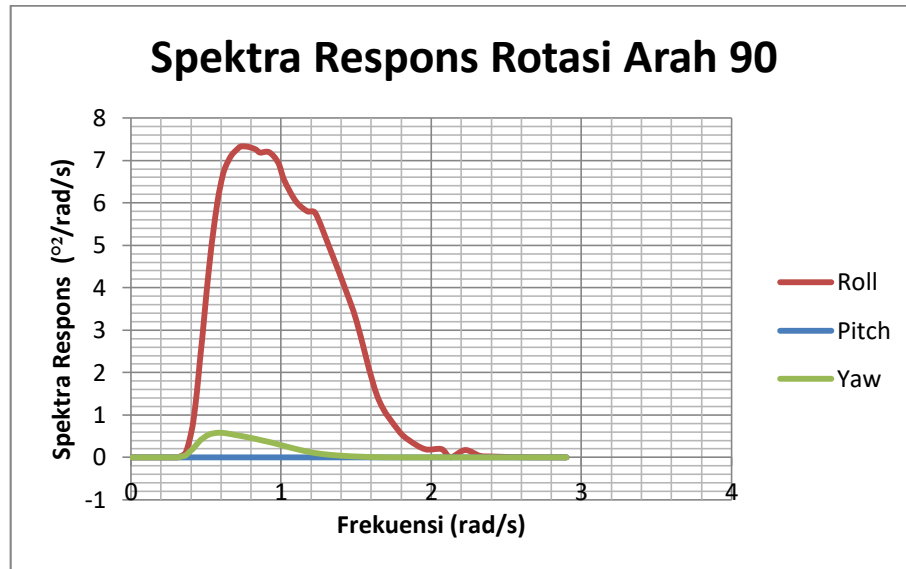


Gambar 4.42 Grafik Respon Spektra Gerakan Translasi *Heading* 90°

Tabel 4.17 Harga-Harga Stokastik Respons Gerakan Translasi *Heading* 90°

Mode Gerakan	m0	Amplitudo Signifikan (m)	Amplitudo Rata-rata (m)	1/10 Amplitudo (m)
Surge	0	0	0	0
Sway	0.25545	2.021682468	1.263551542	2.58067767
Heave	0.10708	1.308892662	0.818057914	1.670801483





Gambar 4.43 Grafik Respon Spektra Gerakan Rotasi *Heading* 90°

Tabel 4.18 Harga-Harga Stokastik Respons Gerakan Rotasi *Heading* 90°

Mode Gerakan	m0	Amplitudo Signifikan (°)	Amplitudo Rata-rata (°)	1/10 Amplitudo (°)
Roll	1.59318	5.048841451	3.155525907	6.444846113
Pitch	0	0	0	0
Yaw	0.0837	1.157238091	0.723273807	1.477214424

#### 4.8 Analisa *Mooring Tension*

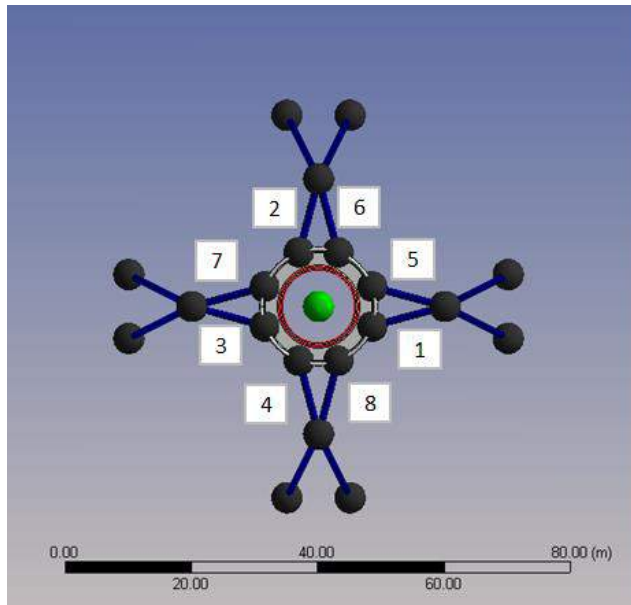
Tegangan yang terjadi pada *mooring line* perlu dianalisa untuk mengetahui tegangan maksimum yang dialami *mooring line* saat terkena beban gelombang. Semakin besar nilai *tension* yang terjadi dibandingkan dengan nilai batas kapasitas tegangan (*breaking strength*) yang diterima, maka akan semakin rentan *mooring line* tersebut untuk putus. Oleh sebab itu dalam perancangannya *tension* maksimum yang bekerja pada struktur harus lebih kecil daripada *tension* maksimum yang diijinkan.

*Tension* maksimum yang diijinkan pada analisis ini akan disesuaikan dengan kriteria *safety factor* yang direkomendasikan oleh ABS yaitu 60 persen dari *minimum breaking load mooring lines*. *Minimum breaking load* dari *mooring line* yang ada pada analisa ini adalah 2501500 N, sehingga *tension* maksimum yang diijinkan adalah 1497904 N atau 1497.9 kN. Analisis dilakukan dengan berbasis

*time domain* selama 3 jam (10800 s) menggunakan *software* ANSYS AQWA. Hasil dari analisis tersebut disajikan pada Tabel 4.19. dengan skema penomoran *mooring lines* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.44

Tabel 4.19 Hasil Analisis *Tension* Maksimum pada *Mooring Lines*

Heading	Line	Tension (kN)	Allowable Tension (kN)	Unity Check
Arah 0	Cable 1	246.10	1497.90	0.16
	Cable 2	169.65		0.11
	Cable 3	217.47		0.15
	Cable 4	170.73		0.11
	Cable 5	230.70		0.15
	Cable 6	157.45		0.11
	Cable 7	235.02		0.16
	Cable 8	158.11		0.11
Arah 45	Cable 1	227.29	1497.90	0.15
	Cable 2	226.61		0.15
	Cable 3	166.82		0.11
	Cable 4	189.63		0.13
	Cable 5	172.03		0.11
	Cable 6	200.63		0.13
	Cable 7	219.99		0.15
	Cable 8	224.94		0.15
Arah 90	Cable 1	159.56	1497.90	0.11
	Cable 2	238.70		0.16
	Cable 3	161.22		0.11
	Cable 4	224.94		0.15
	Cable 5	145.99		0.10
	Cable 6	241.68		0.16
	Cable 7	160.12		0.11
	Cable 8	228.50		0.15



Gambar 4.44 Skema Penomoran *Mooring Lines*

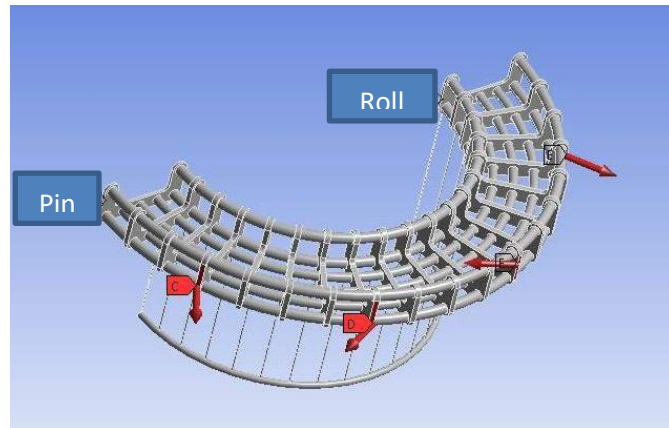
#### 4.9 Analisa Statis Struktur *Collar Cage Aquaculture*

Analisa statis struktur dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur pada saat menerima beban terbesar dalam waktu tertentu. Parameter kekuatan yang dicari adalah tegangan ekuivalen yang dialami struktur pada saat menerima beban akibat *mooring tension*. Analisa ini dilakukan pada model *solid* struktur dengan bantuan *software* ANSYS Mechanic.

##### 4.9.1 Skema Pembebanan dan *Boundary Condition*

Pembebanan yang dipakai dalam analisa statis struktur merupakan beban lingkungan yang diwakili oleh *mooring tension* maksimum. Cara pemilihan bebannya adalah dengan mencari kabel yang memiliki *tension* maksimum dari setiap arah pembebanan gelombang dan mencari waktu kejadiannya. *Tension* kabel lain dipilih berdasarkan besar *tension* pada waktu tersebut. Besar gaya yang diaplikasikan ke struktur dapat dilihat pada Tabel 4.20

Untuk memudahkan analisa statis, model *solid* akan dipotong setengah dan diasumsikan mengalami beban yang simetris. *Boundary condition* yang dipakai dalam permodelan ini adalah *pin* dan *roll* yang terletak di kedua sisi *model solid* yang telah dipotong seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.45.



Gambar 4.45 Skema Pembebanan dan *Boundary Condition*

Tabel 4.20 Pembebanan pada Analisa Statis

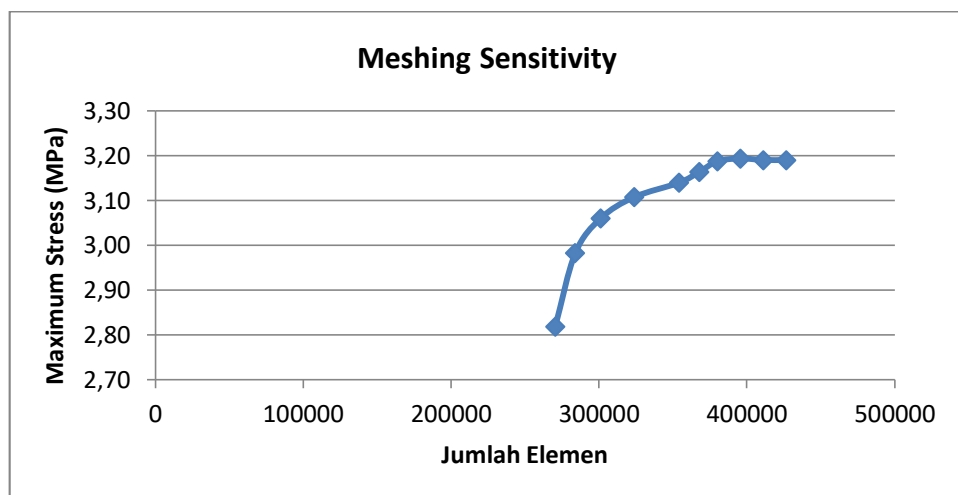
Heading	Cable	Tension (N)	Angle	Force (N)	
0	5	230698.063	54.93	x	132553.8
				y	188815
	1	246096.641	25.07	x	222912.1
				y	104277.4
	8	-10.7946243	25.07	x	-9.77767
				y	-4.57395
45	5	172033.906	54.93	x	98846.69
				y	140801.3
	1	227292.594	25.07	x	205879.5
				y	96309.6
	8	-21.086668	25.07	x	-19.1001
				y	-8.93495
90	6	241680.406	54.93	x	138864
				y	197803.5
	2	238699.25	25.07	x	216211.6
				y	101142.9
	7	-12.4527645	25.07	x	-11.2796
				y	-5.27655
	3	82886.8828	54.93	x	47624.88
				y	67838.83

#### 4.9.2 Meshing Sensitivity

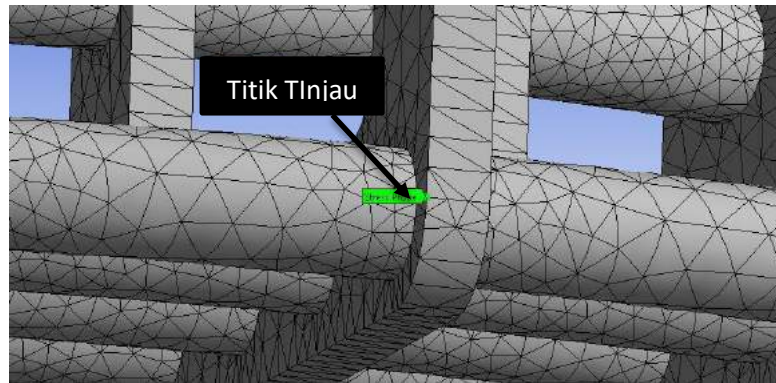
Setelah pembebanan dilakukan analisis selanjutnya adalah melakukan *meshing*. *Meshing* merupakan pembagian model struktur menjadi elemen-elemen kecil sesuai dengan ukuran pembagi yang diinginkan. Analisis sensitivitas *meshing* diperlukan untuk menentukan ketepatan ukuran *meshing* agar didapatkan hasil yang *valid*. Tingkat akurasi dalam *meshing* dilakukan dengan analisis ini. Analisis sensitivitas *meshing* dilakukan dengan cara mengecek tegangan pada titik tertentu dengan iterasi variasi *meshing* hingga tegangan pada titik tersebut tidak mengalami perubahan. Apabila kondisi tersebut terpenuhi, maka *meshing* dapat dikatakan *valid*. Hasil pengujian sensitivitas *meshing* ini dapat dilihat pada Tabel 4.21, Gambar 4.46 dan 4.47

Tabel 4.21 *Meshing Sensitivity*

Kondisi	Ukuran meshing (mm)	Jumlah Node	Jumlah Elemen	Stress (Mpa)
1	200	519956	270387	2.82
2	180	544702	283965	2.98
3	160	608698	301228	3.06
4	140	628308	323826	3.11
5	120	677360	354069	3.14
6	110	684076	367781	3.16
7	100	693968	380112	3.19
8	90	727902	395702	3.19
9	80	761836	411292	3.19
10	75	795770	426882	3.19



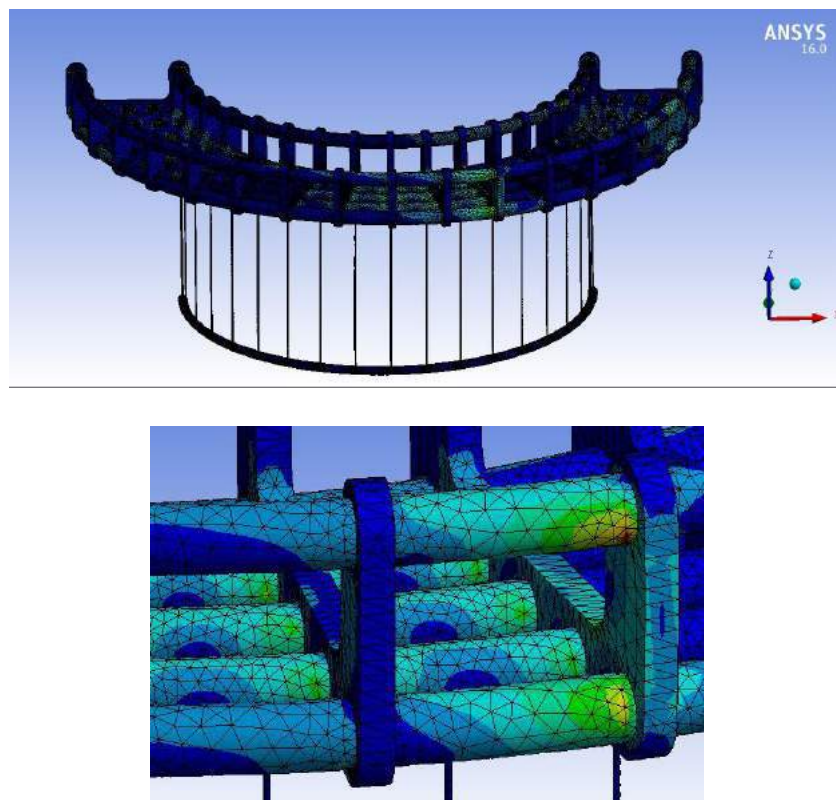
Gambar 4.46 Grafik *Meshing Sensitivity*



Gambar 4.47 Hasil *Meshing* dengan ukuran 75 mm

### 4.9.3 Analisis Tegangan

Setelah selesai melakukan pembebanan dan *meshing*, langkah selanjutnya adalah mencari tegangan von mises maksimum pada setiap arah pembebanan gelombang. Tegangan von mises maksimum dapat diketahui dari hasil running analisa statis dengan bantuan *software* ANSYS Mechanic. Hasil dari analisa ini dapat dilihat pada Gambar 4.48 dan Tabel 4.22



Gambar 4.48 Tegangan Von Mises pada Struktur

Tabel 4.22 Hasil Tegangan Von Mises Maksimum di Setiap *Heading*

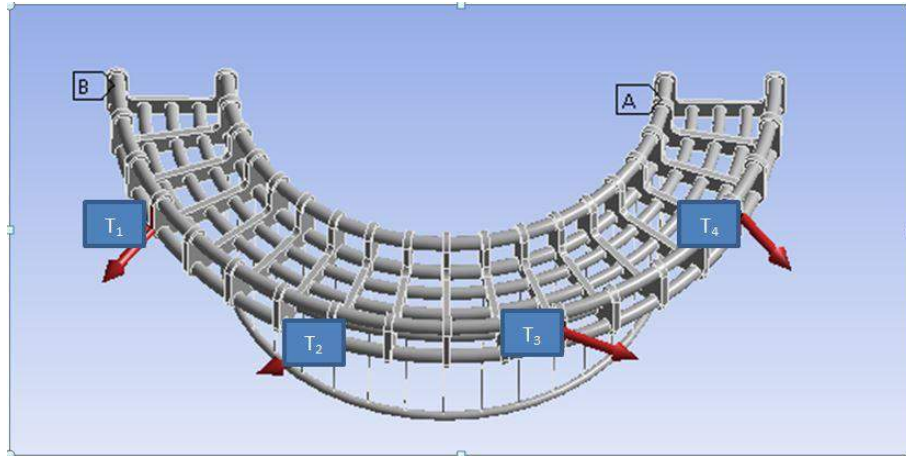
Heading	Times	Von Mises Stress (MPa)
0	400.8 s	15.27
45	291.6s	13.99
90	400.8	15.08

Dari Tabel 4.22 dapat diketahui bahwa struktur mengalami tegangan maksimum ketika pembebanan dalam kondisi *heading* 0° pada saat T = 400.8 s. Nilai tegangan maksimum yang terjadi adalah 15.27 MPa. Tegangan maksimum yang diijinkan adalah 80% dari *yield strength* HDPE (25 MPa) yaitu sebesar 20 MPa. Karena tegangan maksimum yang terjadi lebih kecil daripada tegangan maksimum yang diijinkan maka struktur dinyatakan kuat dan aman untuk beroperasi.

#### 4.10 Analisa Kelelahan Struktur *Collar Cage Aquaculture*

Setelah memastikan struktur memenuhi syarat kekuatan dalam analisa statis, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan umur kelelahan struktur akibat beban siklis. Dalam analisa ini, beban yang ditinjau tidak hanya beban maksimum saja, namun seluruh beban yang terjadi juga diperhitungkan dalam perhitungan umur kelelahan. Pembebanan dalam analisa ini identik dengan pembebanan pada analisa statis. Yang menjadi pembeda adalah pembebanan pada analisa kelelahan meninjau semua beban yang terjadi di setiap kejadian gelombang sesuai dengan data meteocean yang ada. Skema pembebanan dan perhitungan pembebanan untuk analisa kelelahan berturut-turut ditunjukkan oleh Gambar 4.49 dan Tabel 4.23.

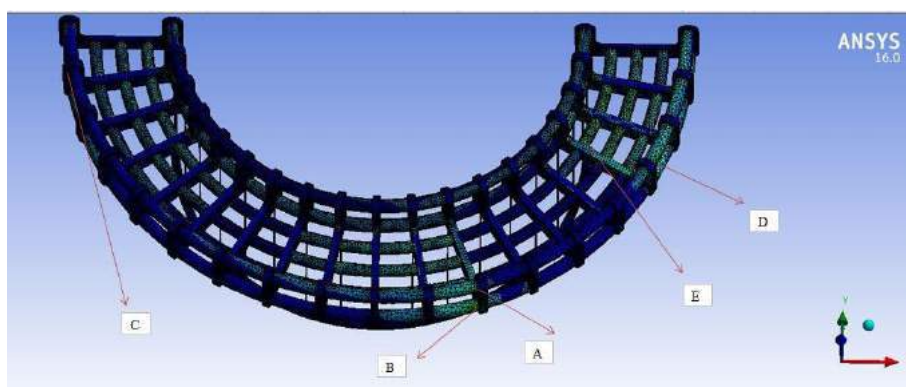
Perhitungan umur kelelahan dilakukan dengan metode Palmgren-Miner, yaitu dengan meninjau rasio kerusakan kumulatif (D) akibat beban yang diterima struktur. Dalam analisa ini dipilih 5 titik paling kritis yang akan ditinjau rasio kerusakan kumulatifnya. Rasio kerusakan kumulatif masing-masing titik akan dihitung dan dibandingkan. Titik dengan rasio kerusakan kumulatif terbesar akan menjadi acuan dalam perhitungan umur kelelahan. Titik yang dipilih dalam analisa ini dapat dilihat pada Gambar 4.50-4.55.



Gambar 4.49 Skema Pembebanan Analisa Umur Kelelahan

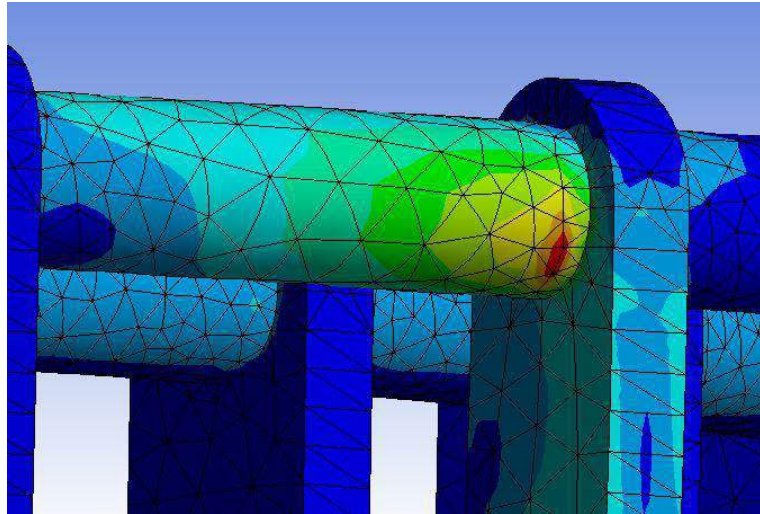
Tabel 4.23 Perhitungan Pembebanan Analisa Umur Kelelahan

H (m)	Jumlah Kejadian (n)	Tension (N)			
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
0.0 - 0.5	3761605	312.139	209.848	1831.86	958.079
0.5 - 1.0	2846859	1268.39	304.81	10736.9	5640.79
1.0 - 1.5	929956	60096.9	1984.9	41354.4	81886.3
1.5 - 2.0	234490	49460.2	141.164	82645.1	99477.7
2.0 - 2.5	69334	27809.3	-1.4171	134139	125109
2.5 - 3.0	26974	147792	123278	97.1442	67226.2
3.0 - 3.5	11108	77166.4	-3.2051	185564	185362
3.5 - 4.0	4762	77166.4	0.39698	101387	-2.6525
4.0 - 4.5	1711	230698	246097	-10.795	61602.3

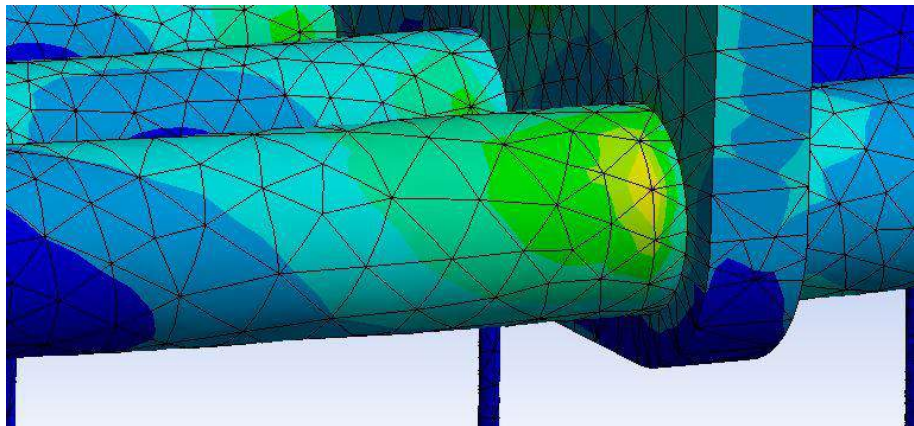


Gambar 4.50 Titik yang Dipilih untuk Ditinjau Umur Kelelahannya

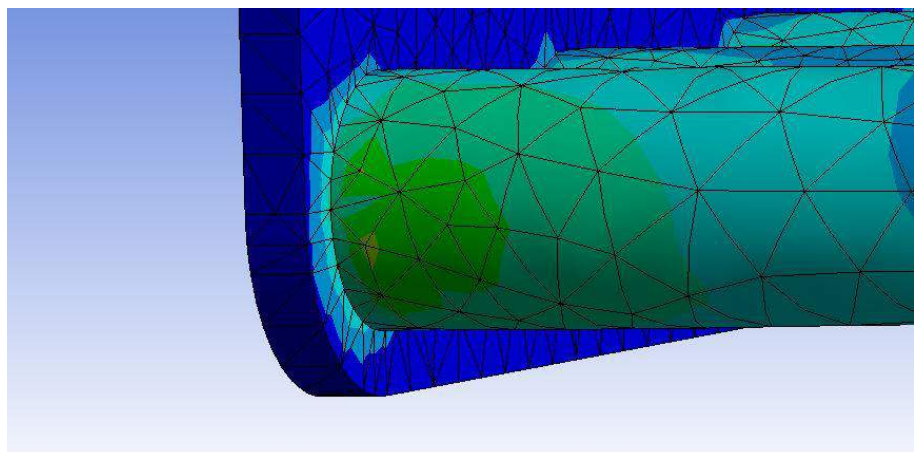




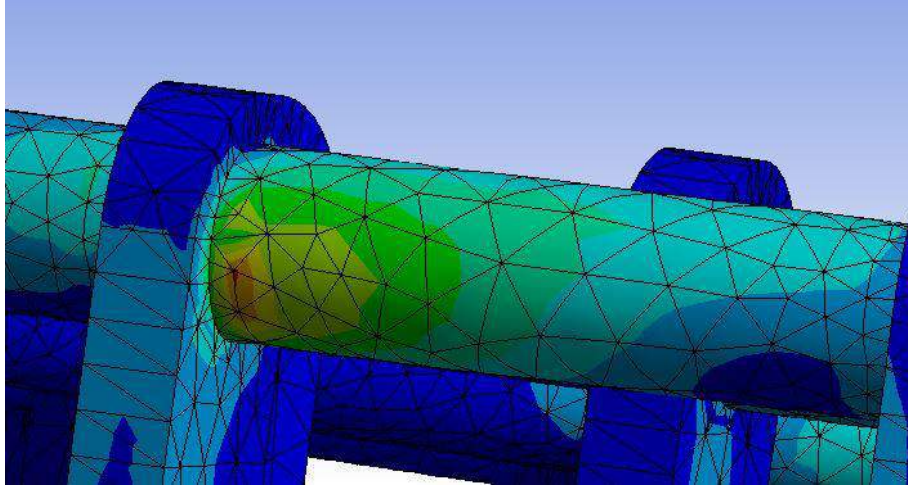
Gambar 4.51 Titik Peninjauan A



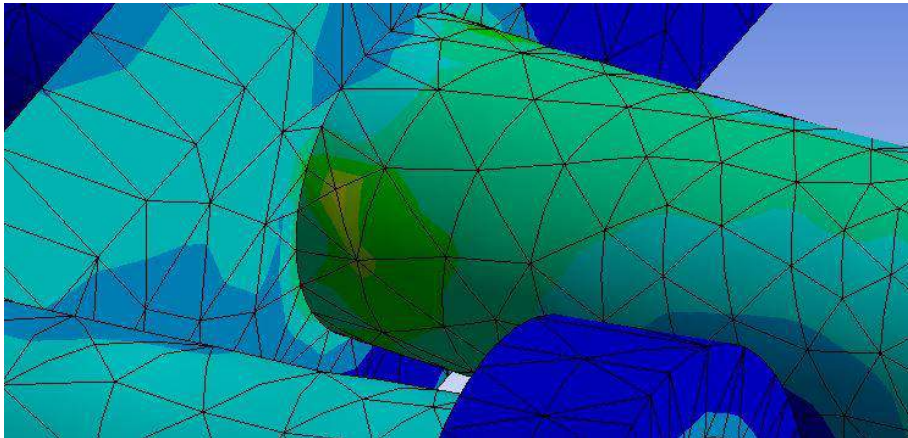
Gambar 4.52 Titik Peninjauan B



Gambar 4.53 Titik Peninjauan C



Gambar 4.54 Titik Peninjauan D



Gambar 4.55 Titik Peninjauan E

Perhitungan rasio kerusakan kumulatif dilakukan dengan menjumlahkan perbandingan antara jumlah siklus kejadian gelombang ( $n$ ) dengan jumlah siklus yang dibutuhkan agar struktur mengalami kegagalan ( $N$ ). Parameter  $N$  dapat diketahui dengan cara mencocokkan *stress range* masing-masing titik ke kurva S-N. Dalam analisa ini, *stress range* yang dipakai merupakan *principal stress* akibat pembebanan pada Tabel 4.23. Perhitungan *stress range* dan  $N$  untuk masing-masing titik dapat dilihat pada Tabel 4.24 dan 4.25

Tabel 4.24 Perhitungan *Stress Range* Masing-Masing Titik

Stress Range	Principal Stress (Mpa)				
	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D	Titik E
$\Delta\sigma_1$	0.025384	0.01343	0.012733	0.015209	0.060736
$\Delta\sigma_2$	0.77754	0.5533	0.3662	0.37423	0.43445
$\Delta\sigma_3$	0.76	0.108	0.8703	3.42	0.664
$\Delta\sigma_4$	6.1337	4.1311	2.7715	6.223	5.0687
$\Delta\sigma_5$	9.82	6.87	5.02	7.97	7.46
$\Delta\sigma_6$	9.14	6.18	4.24	9.25	7.61
$\Delta\sigma_7$	13.65	9.39	6.385	11.72	10.33
$\Delta\sigma_8$	7.2	5.2	3.18	4.29	2.29
$\Delta\sigma_9$	18.03	12.58	9	14.67	13.6

Tabel 4.25 Perhitungan N Masing-Masing Titik ( $N = 6.7 \times 10^{14}/S^{8.6}$ )

Stress Range	N (berdasarkan S-N Curve)				
	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D	Titik E
$\Delta\sigma_1$	3.523E+28	8.407E+30	1.32945E+31	2.884E+30	1.9428E+25
$\Delta\sigma_2$	5.833E+15	1.088E+17	3.78527E+18	3.141E+18	8.7055E+17
$\Delta\sigma_3$	7.097E+15	1.376E+23	2.21269E+15	1.712E+10	2.2669E+16
$\Delta\sigma_4$	112631803	3.372E+09	1.04406E+11	99466426	580716479
$\Delta\sigma_5$	1967505.7	42486100	630990521.2	11844950	20918035.1
$\Delta\sigma_6$	3647014.7	105578118	2696053065	3290454.6	17626527.2
$\Delta\sigma_7$	115860.13	2891683.2	79742720.68	429830.61	1272952.03
$\Delta\sigma_8$	28380192	466064525	32003801703	2.437E+09	5.3888E+11
$\Delta\sigma_9$	10580.631	233787.5	4164752.73	62341.296	119574.945

Setelah parameter N semua titik diketahui, langkah selanjutnya adalah melakukan tabulasi terhadap rasio kerusakan kumulatif masing-masing titik tinjau. Tabulasi rasio kerusakan kumulatif masing-masing titik dapat dilihat pada Tabel 4.26-4.30

Tabel 4.26 Perhitungan Rasio Kerusakan Kumulatif Titik A

Stress Range	Titik A		
	ni	Ni	ni/Ni
$\Delta\sigma_1$	3761605	3.523E+28	1.06786E-22
$\Delta\sigma_2$	2846859	5.833E+15	4.88098E-10
$\Delta\sigma_3$	929956	7.097E+15	1.31034E-10
$\Delta\sigma_4$	234490	112631803	0.002081916
$\Delta\sigma_5$	69334	1967505.7	0.035239541
$\Delta\sigma_6$	26974	3647014.7	0.007396186
$\Delta\sigma_7$	11108	115860.13	0.095874226
$\Delta\sigma_8$	4762	28380192	0.000167793
$\Delta\sigma_9$	1711	10580.631	0.161710588
$\Sigma(\text{Damage Ratio})$			0.302470252

Tabel 4.27 Perhitungan Rasio Kerusakan Kumulatif Titik B

Stress Range	Titik B		
	ni	Ni	ni/Ni
$\Delta\sigma_1$	3761605	8.407E+30	4.5E-25
$\Delta\sigma_2$	2846859	1.088E+17	2.6E-11
$\Delta\sigma_3$	929956	1.376E+23	6.8E-18
$\Delta\sigma_4$	234490	3.372E+09	7E-05
$\Delta\sigma_5$	69334	42486100	0.00163
$\Delta\sigma_6$	26974	105578118	0.00026
$\Delta\sigma_7$	11108	2891683.2	0.00384
$\Delta\sigma_8$	4762	466064525	1E-05
$\Delta\sigma_9$	1711	233787.5	0.00732
$\Sigma(\text{Damage Ratio})$			0.01313

Tabel 4.28 Perhitungan Rasio Kerusakan Kumulatif Titik C

Stress Range	Titik C		
	ni	Ni	ni/Ni
$\Delta\sigma_1$	3761605	1.329E+31	2.82945E-25
$\Delta\sigma_2$	2846859	3.785E+18	7.52088E-13
$\Delta\sigma_3$	929956	2.213E+15	4.20282E-10
$\Delta\sigma_4$	234490	1.044E+11	2.24594E-06
$\Delta\sigma_5$	69334	630990521	0.000109881
$\Delta\sigma_6$	26974	2.696E+09	1.0005E-05
$\Delta\sigma_7$	11108	79742721	0.000139298
$\Delta\sigma_8$	4762	3.2E+10	1.48795E-07
$\Delta\sigma_9$	1711	4164752.7	0.000410829
$\Sigma(\text{Damage Ratio})$			0.000672408

Tabel 4.29 Perhitungan Rasio Kerusakan Kumulatif Titik D

Stress Range	Titik D		
	ni	Ni	ni/Ni
$\Delta\sigma_1$	3761605	2.884E+30	1.3E-24
$\Delta\sigma_2$	2846859	3.141E+18	9.1E-13
$\Delta\sigma_3$	929956	1.712E+10	5.4E-05
$\Delta\sigma_4$	234490	99466426	0.00236
$\Delta\sigma_5$	69334	11844950	0.00585
$\Delta\sigma_6$	26974	3290454.6	0.0082
$\Delta\sigma_7$	11108	429830.61	0.02584
$\Delta\sigma_8$	4762	2.437E+09	2E-06
$\Delta\sigma_9$	1711	62341.296	0.02745
$\Sigma(\text{Damage Ratio})$			0.06975

Tabel 4.30 Perhitungan Rasio Kerusakan Kumulatif Titik E

Stress Range	Titik E		
	ni	Ni	ni/Ni
$\Delta\sigma_1$	3761605	1.94284E+25	1.9E-19
$\Delta\sigma_2$	2846859	8.70548E+17	3.3E-12
$\Delta\sigma_3$	929956	2.26688E+16	4.1E-11
$\Delta\sigma_4$	234490	580716479.1	0.0004
$\Delta\sigma_5$	69334	20918035.05	0.00331
$\Delta\sigma_6$	26974	17626527.16	0.00153
$\Delta\sigma_7$	11108	1272952.029	0.00873
$\Delta\sigma_8$	4762	5.38877E+11	8.8E-09
$\Delta\sigma_9$	1711	119574.9453	0.01431
$\Sigma(\text{Damage Ratio})$			0.02828

Berdasarkan Tabel 4.26-4.30 dapat disimpulkan bahwa titik dengan rasio kerusakan kumulatif terbesar ada di titik A dengan rasio kerusakan kumulatif sebesar 0.3024. Karena rasio kerusakan kumulatif terbesar struktur kurang dari 1 maka dapat dipastikan struktur aman dari potensi kegagalan akibat kelelahan.

Umur kelelahan struktur didapatkan dengan membagi umur desain dengan rasio kerusakan kumulatif terbesarnya. Dalam tugas akhir ini, umur desain struktur adalah 20 tahun, sehingga umur kelelahannya adalah 66.12 tahun.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi desain, analisa kekuatan struktur dan umur kelelahan struktur model *colar cage aquaculture* diperoleh kesimpulan sekaligus menjawab rumusan masalah pada BAB I. Kesimpulan-kesimpulan yang didapatkan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Struktur *aquaculture* memiliki berat 35.12 ton, dengan diameter dalam keseluruhan 12 m, diameter luar keseluruhan 18 m, kedalaman 6m dan volume kapasitas tampung *aquaculture* adalah 678 m<sup>2</sup>.
2. Amplitudo respon struktur *aquaculture* tertambat rata-rata terbesar untuk setiap mode gerakan adalah, 1.2 m untuk *surge* dan *sway*, 0.8 m untuk *heave*, 3.15° untuk *roll* dan *pitch*, serta 0.7° untuk *yaw*. *Tension* terbesar yang dialami *mooring line* adalah 246.1 kN dengan *unity check* sebesar 0.16 sehingga *mooring lines* dipastikan tidak putus saat menerima *tension* maksimum. Nilai tegangan maksimum yang terjadi pada struktur adalah 15.27 MPa. Tegangan maksimum yang terjadi masih lebih kecil daripada tegangan ijin sebesar 20 MPa sehingga berdasarkan analisa statis, struktur dapat dinyatakan aman.
3. Dari perhitungan umur kelelahan struktur, rasio kerusakan kumulatif (D) terbesar yang dialami struktur adalah 0.3024. Karena  $D < 1$ , maka struktur dinyatakan aman. Umur kelelahan dari struktur ini adalah 66.12 tahun.

## 5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diambil sebagai dasar pengembangan tugas akhir ini antara lain adalah:

1. Perlu adanya pendalaman analisa umur kelelahan lebih lanjut dengan menggunakan pendekatan *fracture mechanics*. Analisa umur kelelahan juga perlu dilakukan dengan metode lain seperti *spectral* dan *rainflow*.
2. Diperlukan analisa lebih lanjut mengenai respon gerak jaring dan efek beban impak ikan terhadap kekuatan struktur *aquaculture*.
3. Diperlukan analisa lebih lanjut mengenai feasibilitas bisnis *offshore aquaculture*.
4. Diperlukan analisa lebih lanjut mengenai sistem *feeding*, *harvesting*, dan transportasi *offshore aquaculture*.
5. Perlu dilakukan uji model fisik *offshore aquaculture* di laboratorium hidrodinamika.



## DAFTAR PUSTAKA

- Baskara, A. 2017. **Desain dan Analisa Kekuatan Struktur Model Farmocean Semi-Submersible Offshore Aquaculture untuk Perairan Laut Lepas Indonesia**. Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Beveridge, M. 2004. **Cage Aquaculture 3<sup>rd</sup> Edition**. Oxford: Blackwell Publishing.
- American Petroleum Institute. 2000. **Recommended Practice For Planning and Construction Fixed Offshore Platform-Working Stress Design, API Recommended Practice 2A (RP2A)**. API Publishing Services. Washington DC.
- Cardia, F. dan Lovatelli, A. 2015. **Aquaculture operations in Floating HDPE Cage**. Roma: Food and Agricultural Organization
- Chakrabarti, S.K., 1987. **Hydrodynamics of Offshore Structures**, USA: Computational.
- Chua, T.E. and Tech, E. 2002. **Introduction and history of cage culture**. CAB International. Eds. P.T.K. Woo, D.W. Bruno and L.H.S. Lim. 40 pp.
- Dewan Kelautan Indonesia. 2008. **Evaluasi Kebijakan Dalam Rangka Implementasi Hukum Laut Internasional (UNCLOS 1982) Di Indonesia**. Indonesia: Departemen Kelautan dan Perikanan.
- Djarmiko, E. B., 2012. **Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut diatas Gelombang Acak**. Surabaya: ITS Press.
- DNV. 2010. **Recommended Practice DNV-RP-C203 Fatigue Design of Offshore Steel Structures**. Norway: Det Norske Veritas.
- FAO. 2016. **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Rome: Food and Agricultural Organization of United Nations

- Fredriksson, D.W., DeCew, J., Swift, M.R., Tsukrov, I., Chambers, M.D., dan Celikkol B. 2004. "The Design And Analysis of A Four-Cage Grid Mooringfor Open Ocean Aquaculture". **Journal of Aquacultural Engineering** 32:77-94.
- Fu, S. dan Moan, T. 2011. "Dynamic Analyses of Floating Fish Cage Collars in Waves". **Journal of Aquaculture Engineering** 47:7-15.
- Halliday, D., Resnick, R. 1984. **Fisika**. Jakarta : Erlangga.
- KKP. 2015. **Analisis Data Pokok Kementrian Kelautan dan Perikanan**. Indonesia: Kementrian Kelautan dan Perikanan.
- Khelif, R., Chateaneuf, A., dan Chaoui K. 2008. "Statical Analysis of HDPE Fatigue Lifetime". **Meccanica** 43:547-576
- Kumar, V. dan Karnatak, G. 2014. "Engineering Consideration for Cage Culture". **IOSR Journal of Engineering** 6:11-18
- Lee, C.W., Kim, Y.B., Lee, G.H., Choe, M.Y., Lee, M.K., dan Koo, K.Y. 2008. "Dynamic Simulation of a Fish Cage System Subjected to Currents and Waves". **Journal of Ocean Engineering** 35:1521-1532
- Loverich, G. and Gace, L. 1997. **The affect of currents and waves on several classes of offshore sea cages**. Ocean Spar Technologies, LLC. Open Sea Aquaculture 97. Maui, Hawai. 131- 144 pp.
- Moe, H., Fredheim, A., dan Hopperstad, O.S. 2010. "Structural Analysis of Aquaculture Net Cages in Current. **Journal of Fluid and Structures** 26: 503-516
- Olivares, A.E.V. 2003. **Design of A Cage Culture System for Farming in Mexico**. Reykjavik: The United Nations University
- Price, C.S. dan Morris, J.A. 2013. **Marine Cage Culture and The Environment**. Beaufort: National Oceanic & Atmospheric Administration.

- Rubino, M. 2008. **Offshore Aquaculture in the United States: Economic Considerations, Implications & Opportunities**. United States: National Oceanic & Atmospheric Administration.
- Ryan, J. 2004. **Farming the Deep Blue**. Westport: Bord Iascaigh Mhara dan Irish Marine Institute
- Scott, D.B.C. dan Muir, J.F. 2000. **Offshore cage systems – a practical overview In: Mediterranean Offshore Mariculture**. Zaragoza: CIHEAM Open Mediterraneanes.
- Smooth Surface HDPE Sheet*. (n.d.) diakses dari <http://sdxxhg.com/en/index.asp> (22 November 2017)
- Soedjono, J.J.1998. **Diktat Mata kuliah Konstruksi Bangunan Laut II**. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, ITS.

**LAMPIRAN A**  
**Perhitungan Berat dan *Buoyancy***

## A.1 Perhitungan Berat dan *Buoyancy Floater*

### 1 Inner Collar

Diameter Collar	=	12	m
Keliling Collar	=	37.6991	m
Spesifikasi Pipa	=	HDPE PE 80 SDR 13.6	
Outside Diameter Pipa	=	400	mm
Wall Thickness	=	29.4	mm
Inside Diameter Pipa	=	341.2	mm
Berat per Satuan Panjang	=	34.2	kg/m
<i>Buoyancy</i> per Satuan Panjang	=	91.4	kg/m
Berat	=	1289.31	kg
<i>Buoyancy</i>	=	3445.70	kg

### 2 Outer Collar

Diameter Collar	=	18	m
Keliling Collar	=	56.5487	m
Spesifikasi Pipa	=	HDPE PE 80 SDR 13.6	
Outside Diameter Pipa	=	400	mm
Wall Thickness	=	29.4	mm
Inside Diameter Pipa	=	341.2	mm
Berat per Satuan Panjang	=	34.2	kg/m
<i>Buoyancy</i> per Satuan Panjang	=	91.4	kg/m
Berat	=	1933.96	kg
<i>Buoyancy</i>	=	5168.55	kg

### 3 Middle Collar A

Diameter Collar	=	13.5	m
Keliling Collar	=	42.4115	m
Spesifikasi Pipa	=	HDPE PE 80 SDR 13.6	
Outside Diameter Pipa	=	355	mm
Wall Thickness	=	26.1	mm
Inside Diameter Pipa	=	302.8	mm
Berat per Satuan Panjang	=	27	kg/m
<i>Buoyancy</i> per Satuan Panjang	=	71.9	kg/m
Berat	=	1145.11	kg
<i>Buoyancy</i>	=	3049.39	kg

#### 4 Middle Collar B

Diameter Collar	=	15	m
Keliling Collar	=	47.1239	m
Spesifikasi Pipa	=	HDPE PE 80 SDR 13.6	
Outside Diameter Pipa	=	355	mm
Wall Thickness	=	26.1	mm
Inside Diameter Pipa	=	302.8	mm
Berat per Satuan Panjang	=	27	kg/m
<i>Buoyancy</i> per Satuan Panjang	=	71.9	kg/m
Berat	=	1272.35	kg
<i>Buoyancy</i>	=	3388.21	kg

#### 5 Middle Collar C

Diameter Collar	=	16.5	m
Keliling Collar	=	51.8363	m
Spesifikasi Pipa	=	HDPE PE 80 SDR 13.6	
Outside Diameter Pipa	=	355	mm
Wall Thickness	=	26.1	mm
Inside Diameter Pipa	=	302.8	mm
Berat per Satuan Panjang	=	27	kg/m
<i>Buoyancy</i> per Satuan Panjang	=	71.9	kg/m
Berat	=	1399.58	kg
<i>Buoyancy</i>	=	3727.03	kg

#### 6 Pipa Sinker

Diameter Collar	=	12	m
Keliling Collar	=	37.6991	m
Spesifikasi Pipa	=	HDPE PE 80 SDR 13.6	
Outside Diameter Pipa	=	250	mm
Wall Thickness	=	18.4	mm
Inside Diameter Pipa	=	213.2	mm
Berat per Satuan Panjang	=	13.5	kg/m
<i>Buoyancy</i> per Satuan Panjang	=	35.6	kg/m
Berat	=	508.94	kg
<i>Buoyancy</i>	=	1342.09	kg

## 7 Sinker

Material	=	6x36 RRL EIPS IWRC	
Diameter	=	83	mm
Berat per Satuan Panjang	=	29.02	kg/m
Berat	=	1094	kg

## 8 Inner Handrail

Diameter Collar	=	12	m
Keliling Collar	=	37.6991	m
Spesifikasi Pipa	=	HDPE PE 80 SDR 13.6	
Outside Diameter Pipa	=	250	mm
Wall Thickness	=	18.4	mm
Inside Diameter Pipa	=	213.2	mm
Berat per Satuan Panjang	=	13.5	kg/m
Berat	=	508.94	kg

## 9 Outer Handrail

Diameter Collar	=	18	m
Keliling Collar	=	56.5487	m
Spesifikasi Pipa	=	HDPE PE 80 SDR 13.6	
Outside Diameter Pipa	=	250	mm
Wall Thickness	=	18.4	mm
Inside Diameter Pipa	=	213.2	mm
Berat per Satuan Panjang	=	13.5	kg/m
Berat	=	763.41	kg

## 10 Bracket

Luas Penampang <i>Bracket</i>	=	2.7017	m <sup>2</sup>
Tebal <i>Bracket</i>	=	0.2	m
Volume <i>Bracket</i>	=	0.54034	m <sup>3</sup>
Jumlah <i>Bracket</i>	=	36	
Material	=	HDPE	
Densitas (ρ) HDPE	=	952	kg/m <sup>3</sup>
Densitas (ρ) Air Laut	=	1025	kg/m <sup>3</sup>
Berat	=	18518.53	kg
<i>Buoyancy</i>	=	19938.55	kg

## 11 Tali Sinker

Panjang Tali (L)	=	6	m
Diameter Tali (D)	=	0.04	m
Material	=	<i>Polypropylene</i>	
Densitas ( $\rho$ )	=	933	kg/m <sup>3</sup>
Densitas ( $\rho$ ) Air Laut	=	1025	kg/m <sup>3</sup>
Jumlah Tali	=	36	
Total Volume	=	0.2714	kg/m <sup>3</sup>
Berat	=	253.25	kg
<i>Buoyancy</i>	=	278.22	kg

## 12 Jaring

Luas Selimut Jaring	=	226.1947	m <sup>2</sup>
Luas Alas Jaring	=	113.0973	m <sup>2</sup>
Luas Permukaan Total	=	339.2920	m <sup>2</sup>
Material Jaring	=	<i>Black Polyethylene Mesh</i>	
Dimensi jaring	=	1.25 in x 1.25 in	
Densitas ( $\rho$ )	=	952	kg/m <sup>3</sup>
Densitas ( $\rho$ ) Air Laut	=	1025	kg/m <sup>3</sup>
PMSF Jaring	=	120	lbs/1000 sq ft
	=	0.585891317	kg/m <sup>2</sup>
Berat	=	198.79	kg
<i>Buoyancy</i>	=	214.03	kg

### A.2 Perhitungan Berat dan *Buoyancy* Bangunan Atas

#### 1 Konstruksi

Material	=	HDPE Sheet	
Densitas ( $\rho$ ) HDPE	=	952	kg/m <sup>3</sup>
Dimensi			
- Panjang	=	2	m
- Lebar	=	2	m
- Tinggi	=	2.5	m
- Wall Thickness	=	0.05	m
Luas Alas dan Penutup	=	8	m <sup>2</sup>
Luas Selimut	=	20	m <sup>2</sup>
Luas Permukaan	=	28	m <sup>2</sup>
Volume	=	1.4	m <sup>3</sup>
Jumlah	=	4	
Berat Total	=	5331.2	kg
	=	5.3	ton



## 2 Live Load

Berat Peralatan K3	=	0.2	ton
Berat Jaring Cadangan	=	0.2	ton
Berat Makanan	=	0.2	ton
Berat Personel	=	4 orang x 100 kg	
	=	0.4	ton

## **LAMPIRAN B**

### **Hasil RAO *Free Floating***

## B.1 RAO Free Floating Arah 0

Frekuensi (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (°/m)	Pitch (°/m)	Yaw (°/m)
0.1	4.652229309	1.37E-04	0.999418616	5.21E-06	0.264451264	4.32E-04
0.38509	1.253547072	1.95E-06	0.989263952	1.32E-06	1.165725461	2.18E-05
0.67019	0.766922534	1.75E-06	0.95202595	2.16E-06	2.773023079	4.35E-06
0.95528	0.4375453	1.05E-06	0.868114054	8.35E-06	5.582319158	3.35E-05
1.24037	1.96E-02	3.60E-07	0.459548354	1.46E-05	9.282326974	5.37E-05
1.52547	0.37800464	8.48E-07	0.522218108	1.09E-05	10.96013648	1.31E-05
1.81056	0.411590278	9.04E-07	0.440700203	1.29E-05	7.114238808	5.47E-06
2.09565	0.376086682	9.74E-07	0.339780837	5.07E-06	1.757433607	2.50E-06
2.38075	0.139133126	3.29E-07	0.232340559	8.80E-06	3.1626382	7.97E-07
2.66584	9.80E-02	3.53E-07	0.158878788	7.31E-06	1.80672911	1.00E-06
2.95093	6.54E-02	2.30E-07	9.47E-02	3.95E-06	1.138618895	1.98E-07
3.23603	4.72E-02	9.82E-08	5.99E-02	1.74E-06	0.724301808	3.40E-08
3.52112	3.25E-02	1.98E-07	4.47E-02	3.02E-06	0.492130444	2.03E-07
3.80621	2.26E-02	1.51E-07	2.69E-02	2.27E-06	0.344994002	2.03E-08
4.09131	1.72E-02	1.58E-07	1.84E-02	1.85E-06	0.238193349	4.16E-08
4.3764	1.25E-02	1.52E-07	1.32E-02	1.96E-06	0.171135032	3.41E-08
4.66149	9.46E-03	1.30E-07	9.36E-03	1.60E-06	0.123678344	3.38E-08
4.94659	6.91E-03	7.67E-08	6.83E-03	9.14E-07	9.16E-02	2.51E-08
5.23168	5.09E-03	7.58E-08	4.95E-03	8.91E-07	7.04E-02	2.89E-08
5.51677	3.53E-03	1.33E-07	3.69E-03	1.43E-06	5.47E-02	2.47E-08

## B.2 RAO Free Floating Arah 45

Frekuensi (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (°/m)	Pitch (°/m)	Yaw (°/m)
0.1	3.28963542	3.28963995	0.999418795	0.186995665	0.186996906	4.32E-04
0.38509	0.886394739	0.88639158	0.989264846	0.824296311	0.824291081	2.18E-05
0.67019	0.542295992	0.54229641	0.952023685	1.960832478	1.960831411	4.36E-06
0.95528	0.309386253	0.309385777	0.868113875	3.947317012	3.947330673	3.35E-05
1.24037	1.39E-02	1.39E-02	0.45954743	6.563666224	6.563650429	5.39E-05
1.52547	0.267311722	0.267313659	0.522225201	7.750061972	7.74999367	1.35E-05
1.81056	0.291045755	0.291045636	0.440723091	5.030158555	5.030163677	5.68E-06
2.09565	0.265965313	0.265967578	0.339764833	1.242051971	1.242081533	2.56E-06
2.38075	9.84E-02	9.84E-02	0.232264683	2.235997108	2.23598793	9.12E-07
2.66584	0.069304384	6.93E-02	0.158797532	1.277115815	1.277107063	1.07E-06
2.95093	4.62E-02	4.62E-02	9.47E-02	0.80474911	0.804741532	2.41E-07
3.23603	0.033327866	3.33E-02	5.99E-02	0.511969049	0.511966274	5.93E-08
3.52112	2.30E-02	2.30E-02	4.47E-02	0.347884133	0.347882745	2.07E-07
3.80621	1.60E-02	1.60E-02	2.69E-02	0.243890741	0.243892795	1.47E-08
4.09131	1.22E-02	1.22E-02	1.84E-02	0.168437441	0.168441323	2.75E-08
4.3764	8.88E-03	8.88E-03	1.32E-02	0.121079137	0.121082552	1.77E-08
4.66149	6.70E-03	6.70E-03	9.38E-03	8.76E-02	8.76E-02	3.25E-08
4.94659	4.90E-03	4.90E-03	6.86E-03	6.50E-02	6.50E-02	1.78E-08
5.23168	3.61E-03	3.61E-03	4.98E-03	5.00E-02	5.00E-02	6.56E-09
5.51677	2.50E-03	2.50E-03	3.69E-03	3.87E-02	3.87E-02	7.64E-09

### B.3 RAO Free Floating Arah 90

Frekuensi (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (°/m)	Pitch (°/m)	Yaw (°/m)
0.1	1.30E-04	4.652228355	0.999418557	0.264451264	1.18E-05	4.32E-04
0.38509	7.29E-06	1.253545165	0.989263713	1.165725461	1.11E-05	2.18E-05
0.67019	3.83E-07	0.76692313	0.952027202	2.773026708	2.19E-06	4.33E-06
0.95528	4.34E-07	0.437547803	0.868114233	5.582262809	3.82E-06	3.35E-05
1.24037	2.14E-06	1.96E-02	0.459548861	9.282288554	2.15E-05	5.43E-05
1.52547	1.05E-06	0.378005475	0.522217155	10.96017319	2.54E-05	1.39E-05
1.81056	1.50E-06	0.411589712	0.440699995	7.114234113	2.70E-05	5.94E-06
2.09565	9.24E-07	0.376087576	0.339780748	1.757402978	1.32E-05	2.59E-06
2.38075	6.38E-07	0.139133051	0.232340395	3.162626247	1.23E-05	1.02E-06
2.66584	4.19E-07	9.80E-02	0.158878922	1.806732525	9.66E-06	1.13E-06
2.95093	1.92E-07	6.54E-02	9.47E-02	1.138617187	3.80E-06	2.74E-07
3.23603	1.20E-07	4.72E-02	5.99E-02	0.724302128	1.62E-06	8.00E-08
3.52112	1.66E-07	0.03248658	4.47E-02	0.492130925	2.33E-06	2.46E-07
3.80621	1.48E-07	2.26E-02	0.026902886	0.344995069	2.22E-06	1.03E-08
4.09131	1.49E-07	1.72E-02	1.84E-02	0.238193883	1.85E-06	1.12E-08
4.3764	1.51E-07	1.25E-02	1.32E-02	0.171134845	1.86E-06	1.72E-08
4.66149	1.35E-07	9.46E-03	9.36E-03	0.123678531	1.66E-06	2.76E-08
4.94659	1.14E-07	6.91E-03	6.83E-03	9.16E-02	1.39E-06	1.46E-08
5.23168	1.14E-07	5.09E-03	4.95E-03	7.04E-02	1.49E-06	1.31E-08
5.51677	1.32E-07	3.53E-03	3.69E-03	5.47E-02	1.36E-06	9.07E-09

## **LAMPIRAN C**

### **Hasil Spektra Gelombang, RAO Tertambat dan Spektra Respons**

## C.1 Spektra Gelombang

Frekuensi (rad/s)	Spectra Density
0.31487	1.03E-02
0.3237	0.047701009
0.33999	0.11668589
0.35629	0.185670882
0.36657	0.291003764
0.3856	0.712916255
0.40463	1.134828806
0.41669	1.43274641
0.4391	2.117460728
0.4615	2.802174091
0.47577	3.068943739
0.50238	3.530524731
0.52899	3.72763896
0.54603	3.743238211
0.57798	3.629889965
0.60992	3.358654737
0.63052	3.130375385
0.66936	2.686618805
0.70819	2.255277634
0.73344	2.009284735
0.78136	1.591226816
0.82928	1.25538528
0.86074	1.068843365
0.92095	0.800598204
0.98116	0.604530156
1.02118	0.502017915

1.09849	0.357767165
1.1758	0.258888364
1.22799	0.21023652
1.33004	0.142818168
1.43209	9.95E-02
1.50215	7.86E-02
1.64088	5.09E-02
1.77961	3.40E-02
1.85154	2.79E-02
1.96	2.10E-02
2.06847	0.016092736
2.1284	0.013970336
2.22587	1.12E-02
2.32334	9.02E-03
2.40778	7.54E-03
2.60049	5.14E-03
2.7932	3.82E-03
2.85581	3.82E-03
2.87826	3.82E-03
2.90071	3.82E-03

## C.2 RAO Tertambat Arah 0

Frekuensi (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (°/m)	Pitch (°/m)	Yaw (°/m)
0.31487	1.6913425	6.85E-02	0.5894733	1.10E-02	0.5565604	0.4979216
0.3237	1.6353405	6.34E-02	0.5896359	1.10E-02	0.5732458	0.4814555
0.33999	1.5409595	5.51E-02	0.5900456	1.10E-02	0.6043469	0.4552061
0.35629	1.456558	0.0482454	0.5905968	1.11E-02	0.6358544	0.433806
0.36657	1.4077123	4.45E-02	0.5910175	1.12E-02	0.6559477	0.4225685
0.3856	1.3256948	3.85E-02	0.5918478	1.13E-02	0.6940467	0.4047468
0.40463	1.2732831	3.37E-02	0.589278	1.15E-02	0.7487457	0.3947299
0.41669	1.2416122	3.11E-02	0.587732	1.16E-02	0.7838038	0.3894154
0.4391	1.1856669	2.68E-02	0.5850258	1.18E-02	0.8498381	0.3832818
0.4615	1.133303	2.32E-02	0.5825313	1.21E-02	0.9171347	0.3793085
0.47577	1.1016488	2.12E-02	0.5810511	1.23E-02	0.9606854	0.3793563
0.50238	1.0459255	1.79E-02	0.5785093	1.26E-02	1.0435573	0.3797934
0.52899	0.9940532	1.51E-02	0.5762454	1.30E-02	1.1287266	0.3847784
0.54603	0.9627005	1.36E-02	0.5749377	1.33E-02	1.1845942	0.3889057
0.57798	0.9074067	1.11E-02	0.5727741	1.39E-02	1.2924219	0.4009272
0.60992	0.8562298	8.91E-03	0.5709713	1.45E-02	1.4047398	0.4159151
0.63052	0.8251714	7.69E-03	0.5699903	1.49E-02	1.4798136	0.4276485
0.66936	0.7702901	5.69E-03	0.5685025	1.59E-02	1.6277816	0.4522703
0.70819	0.7142901	3.97E-03	0.5646737	1.71E-02	1.7947723	0.4814869
0.73344	0.6801647	2.99E-03	0.5618439	1.79E-02	1.9099113	0.5032457
0.78136	0.6196995	1.40E-03	0.5555691	1.97E-02	2.1448262	0.5460595
0.82928	0.5638127	4.96E-04	0.5477666	2.17E-02	2.4051916	0.5920951



0.86074	0.5290834	9.61E-04	0.5416222	2.31E-02	2.5928109	0.6214886
0.92095	0.465749	2.11E-03	0.5272159	2.62E-02	2.9974136	0.6755439
0.98116	0.3884888	3.07E-03	0.4906497	2.89E-02	3.3891709	0.7183881
1.02118	0.3269699	3.59E-03	0.448906	2.98E-02	3.6072939	0.735142
1.09849	0.2172691	4.20E-03	0.368966	0.0312801	4.10775	0.7478675
1.1758	0.1124652	4.32E-03	0.3007649	3.28E-02	4.73281	0.7296095
1.22799	4.07E-02	4.23E-03	0.2747926	3.48E-02	5.2339354	0.6998501
1.33004	0.1245709	3.55E-03	0.2814262	3.79E-02	5.8422873	0.6395429
1.43209	0.2662522	3.04E-03	0.2951094	4.50E-02	6.2824099	0.5751874
1.50215	0.3414921	2.86E-03	0.3047601	4.92E-02	6.3964376	0.5157
1.64088	0.4509251	2.58E-03	0.2702325	4.56E-02	5.3250772	0.3343301
1.77961	0.4125968	1.66E-03	0.2580242	2.98E-02	4.3528327	0.1347708
1.85154	0.3653657	1.02E-03	0.2433655	1.94E-02	3.8116382	9.96E-02
1.96	0.2837599	7.86E-04	0.2080923	9.70E-03	3.0264015	0.2147818
2.06847	0.184255	3.36E-03	0.2012028	2.63E-02	3.4770707	0.32876
2.1284	0.3753982	6.84E-03	0.1867122	0.122162	0.4895854	0.3622701
2.22587	5.81E-02	1.56E-02	0.1435543	0.2415191	3.9399659	0.4098166
2.32334	0.1162323	3.66E-03	0.1326715	5.21E-02	2.0597321	0.402749
2.40778	0.1203962	1.61E-03	0.1272505	2.79E-02	1.6409356	0.3544943
2.60049	8.54E-02	1.29E-03	0.084774	9.50E-03	1.004708	1.97E-02
2.7932	5.69E-02	2.13E-03	0.0551218	1.37E-02	0.64901	0.2937877
2.85581	5.11E-02	2.06E-03	0.0511043	1.34E-02	0.573974	0.3051004
2.87826	5.21E-02	1.96E-03	0.0515942	0.0128921	0.5770777	0.3011407
2.90071	5.47E-02	1.83E-03	0.0528321	0.0121427	0.5950125	0.2935428

### C.3 RAO Tertambat Arah 45

Frekuensi (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (°/m)	Pitch (°/m)	Yaw (°/m)
0.31487	1.242254	1.242262	0.5896593	0.3994929	0.3994733	5.38E-03
0.3237	1.1991918	1.1991998	0.5898201	0.4114341	0.4114142	5.44E-03
0.33999	1.1269559	1.1269655	0.5902252	0.4336901	0.4336698	5.52E-03
0.35629	1.0627059	1.0627167	0.590771	0.4562352	0.4562145	5.54E-03
0.36657	1.0256648	1.0256759	0.5911878	0.4706124	0.4705914	5.60E-03
0.3856	0.9637005	0.9637114	0.5920097	0.4978705	0.4978494	5.69E-03
0.40463	0.923716	0.9237282	0.589434	0.5369816	0.5369595	5.88E-03
0.41669	0.8996931	0.8997048	0.5878839	0.5620514	0.5620289	5.95E-03
0.4391	0.8574605	0.8574729	0.5851682	0.6092742	0.6092509	6.05E-03
0.4615	0.8181663	0.8181786	0.5826632	0.6574058	0.6573823	6.18E-03
0.47577	0.7944958	0.7945079	0.5811753	0.6885555	0.6885324	6.16E-03
0.50238	0.7529992	0.7530115	0.578619	0.7478382	0.7478143	6.10E-03
0.52899	0.7145147	0.7145268	0.5763388	0.8087706	0.808747	5.91E-03
0.54603	0.6913229	0.6913347	0.5750203	0.8487448	0.8487207	5.80E-03
0.57798	0.6505152	0.6505272	0.5728353	0.9259033	0.9258783	5.52E-03
0.60992	0.6128522	0.6128644	0.5710103	1.006287	1.0062598	5.16E-03
0.63052	0.5900336	0.590046	0.5700148	1.0600194	1.0599913	4.94E-03
0.66936	0.5497804	0.5497931	0.5684988	1.1659362	1.1659043	4.58E-03
0.70819	0.5089512	0.5089635	0.5646424	1.2854097	1.2853756	4.21E-03
0.73344	0.4840864	0.4840983	0.5617952	1.3678043	1.3677681	4.00E-03
0.78136	0.4400565	0.4400677	0.5554924	1.5359638	1.5359236	3.66E-03
0.82928	0.3993697	0.3993801	0.5476704	1.7224069	1.7223617	3.40E-03

0.86074	0.3740914	0.3741009	0.5415205	1.8568085	1.8567605	3.25E-03
0.92095	0.3279873	0.327996	0.5271235	2.1467829	2.1467267	3.02E-03
0.98116	0.2719697	0.2719766	0.4906042	2.4277837	2.427719	2.77E-03
1.02118	0.227491	0.2274963	0.4489277	2.5843843	2.5843128	2.57E-03
1.09849	0.1480907	0.1480933	0.3692396	2.9437757	2.9436885	2.23E-03
1.1758	0.072224	7.22E-02	0.3015072	3.3925804	3.3924774	1.93E-03
1.22799	2.03E-02	2.03E-02	0.275926	3.7520637	3.7519489	1.72E-03
1.33004	9.76E-02	9.76E-02	0.2829584	4.181032	4.1809018	1.21E-03
1.43209	0.1972504	0.1972593	0.2968544	4.4775865	4.477454	7.68E-04
1.50215	0.248797	0.2488065	0.3064342	4.541698	4.5415695	5.82E-04
1.64088	0.3190416	0.3190503	0.2705976	3.7500555	3.7499734	6.67E-04
1.77961	0.2921287	0.2921363	0.254827	3.0841144	3.0840403	9.76E-04
1.85154	0.2591418	0.2591499	0.2387679	2.7140591	2.7139735	9.93E-04
1.96	0.1988262	0.1988343	0.2037151	2.152956	2.1528594	8.39E-04
2.06847	0.1280336	0.1280389	0.2003062	2.4207052	2.4206237	6.57E-04
2.1284	0.261499	0.2614944	0.1903295	0.169076	0.1692192	1.62E-04
2.22587	6.08E-02	6.08E-02	0.1475302	2.9020958	2.9023421	2.35E-04
2.32334	8.48E-02	8.48E-02	0.1323204	1.4876527	1.4877372	4.31E-04
2.40778	9.68E-02	9.68E-02	0.1272445	1.2819689	1.281938	5.75E-04
2.60049	6.21E-02	6.21E-02	0.0883207	0.7435265	0.7433923	5.12E-04
2.7932	5.27E-02	5.27E-02	0.0642192	0.5156058	0.5156803	6.01E-04
2.85581	0.0488916	4.89E-02	0.0517933	0.4605399	0.4605937	5.81E-04
2.87826	4.86E-02	4.86E-02	0.0494664	0.458906	0.4589157	5.42E-04
2.90071	4.93E-02	0.0493529	0.0502823	0.4717242	0.4716814	4.92E-04

#### C.4 RAO Tertambat Arah 90

Frekuensi (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (°/m)	Pitch (°/m)	Yaw (°/m)
0.31487	6.85E-02	1.6912526	0.5894761	0.5565545	1.10E-02	0.4967612
0.3237	6.33E-02	1.63526	0.589639	0.5732407	1.10E-02	0.4803316
0.33999	5.51E-02	1.5408934	0.5900486	0.604343	1.11E-02	0.4541443
0.35629	0.0482209	1.456504	0.5906001	0.6358515	1.11E-02	0.4328007
0.36657	4.45E-02	1.4076648	0.591021	0.6559458	1.12E-02	0.4216011
0.3856	3.85E-02	1.3256565	0.5918516	0.6940454	1.13E-02	0.4038222
0.40463	3.37E-02	1.2732528	0.5892821	0.7487463	1.15E-02	0.3938157
0.41669	3.11E-02	1.2415854	0.5877367	0.7838056	1.16E-02	0.3885033
0.4391	2.68E-02	1.185647	0.5850305	0.8498415	1.19E-02	0.3823705
0.4615	2.32E-02	1.1332883	0.5825364	0.9171402	0.012133	0.3783902
0.47577	2.12E-02	1.1016377	0.5810566	0.9606925	1.23E-02	0.3784346
0.50238	1.79E-02	1.0459183	0.578515	1.0435671	1.27E-02	0.3788492
0.52899	1.51E-02	0.9940491	0.5762515	1.1287392	1.31E-02	0.3838087
0.54603	1.36E-02	0.9626986	0.5749441	1.1846089	1.34E-02	0.3879124
0.57798	1.11E-02	0.9074068	0.5727809	1.2924398	1.39E-02	0.3998906
0.60992	0.0089078	0.8562325	0.5709785	1.4047624	1.45E-02	0.414812
0.63052	7.69E-03	0.8251747	0.5699979	1.4798385	1.50E-02	0.4265048
0.66936	5.69E-03	0.7702948	0.5685103	1.6278118	1.59E-02	0.4510294
0.70819	3.98E-03	0.7142949	0.5646816	1.7948047	1.71E-02	0.4800895
0.73344	3.00E-03	0.6801699	0.5618518	1.909946	0.0179773	0.5017386
0.78136	1.42E-03	0.619705	0.5555769	2.1448638	1.97E-02	0.5443295
0.82928	5.22E-04	0.5638176	0.5477742	2.4052322	2.17E-02	0.5901475

0.86074	9.72E-04	0.5290879	0.5416297	2.5928533	0.0231832	0.6194072
0.92095	2.11E-03	0.4657528	0.5272227	2.9974623	2.62E-02	0.6732461
0.98116	3.07E-03	0.3884909	0.4906555	3.3892279	2.89E-02	0.7159446
1.02118	3.59E-03	0.3269705	0.4489109	3.6073654	2.98E-02	0.7326748
1.09849	4.19E-03	0.2172662	0.3689695	4.107847	3.13E-02	0.7455809
1.1758	4.31E-03	0.1124585	0.3007669	4.7329462	3.28E-02	0.727801
1.22799	4.22E-03	4.07E-02	0.2747941	5.2341019	3.48E-02	0.6984586
1.33004	3.55E-03	0.1245858	0.2814279	5.8425156	3.79E-02	0.6390396
1.43209	3.03E-03	0.2662729	0.295112	6.2826811	4.50E-02	0.5751082
1.50215	2.86E-03	0.3415141	0.3047637	6.3967077	0.0490238	0.515841
1.64088	2.57E-03	0.4509366	0.2702382	5.3251991	0.045406	0.3355695
1.77961	1.64E-03	0.4126016	0.2580304	4.352879	2.96E-02	0.1381696
1.85154	1.01E-03	0.3653717	0.2433713	3.8116922	1.91E-02	0.1002536
1.96	7.93E-04	0.2837696	0.2080962	3.026471	9.66E-03	0.21233
2.06847	3.35E-03	0.1843279	0.2012039	3.4765137	2.58E-02	0.3273755
2.1284	6.83E-03	0.3753834	0.1867183	0.4902102	0.1219825	0.3611698
2.22587	1.56E-02	5.82E-02	0.1435598	3.9404746	0.2415861	0.4095906
2.32334	3.68E-03	0.1162346	0.1326683	2.0597092	5.23E-02	0.4020193
2.40778	1.62E-03	0.1204146	0.1272592	1.6410766	2.81E-02	0.3541811
2.60049	1.28E-03	0.0854386	0.0847721	1.0046873	9.57E-03	1.91E-02
2.7932	2.13E-03	5.69E-02	0.0551296	0.649118	1.37E-02	0.2933922
2.85581	2.06E-03	5.11E-02	0.0511056	0.574007	1.35E-02	0.3048251
2.87826	1.97E-03	5.21E-02	0.0515945	0.5770929	1.29E-02	0.3008049
2.90071	1.84E-03	5.47E-02	0.052833	0.5950351	1.22E-02	0.2931122

### C.5 Spektra Respons Arah 0

Frekuensi (rad/s)	Surge (m <sup>2</sup> /rad/s)	Sway (m <sup>2</sup> /rad/s)	Heave (m <sup>2</sup> /rad/s)	Roll (°/rad/s)	Pitch (°/rad/s)	Yaw (°/rad/s)
0.31487	0.0295321	4.85E-05	0.0035872	1.246E-06	0.0031978	0.0025595
0.3237	0.1275686	0.0001914	0.0165842	5.769E-06	0.0156751	0.0110571
0.33999	0.2770772	0.0003543	0.0406246	1.423E-05	0.0426178	0.0241788
0.35629	0.3939121	0.0004322	0.0647629	2.292E-05	0.0750687	0.034941
0.36657	0.5766688	0.0005761	0.1016481	3.627E-05	0.1252094	0.0519628
0.3856	1.2529266	0.0010576	0.249723	9.072E-05	0.3434123	0.1167899
0.40463	1.8398411	0.0012917	0.3940677	0.000149	0.6362078	0.1768196
0.41669	2.2087231	0.0013849	0.494912	0.0001921	0.8802056	0.2172679
0.4391	2.9767391	0.001521	0.7247119	0.000296	1.5292827	0.3110654
0.4615	3.5990446	0.0015072	0.9508974	0.0004093	2.3570095	0.4031627
0.47577	3.7245625	0.0013762	1.036138	0.0004618	2.8323785	0.4416554
0.50238	3.8622534	0.0011319	1.1815713	0.0005626	3.844783	0.5092535
0.52899	3.6834356	0.0008548	1.237795	0.000632	4.7491007	0.5518933
0.54603	3.4692041	0.0006917	1.2373401	0.0006615	5.2527491	0.5661559
0.57798	2.9888038	0.0004436	1.1908588	0.0006968	6.0632027	0.583478
0.60992	2.462329	0.0002665	1.0949491	0.0007045	6.627613	0.5809981
0.63052	2.1314969	0.0001852	1.0170245	0.0006976	6.8550474	0.5724932
0.66936	1.5940967	8.705E-05	0.8683021	0.0006757	7.118661	0.5495437
0.70819	1.1506659	3.56E-05	0.7191097	0.0006563	7.2647178	0.5228403
0.73344	0.9295434	1.8E-05	0.6342679	0.0006447	7.3293912	0.5088638
0.78136	0.6110749	3.14E-06	0.4911434	0.0006166	7.3200881	0.4744737
0.82928	0.3990678	3.088E-07	0.3766761	0.0005905	7.2623369	0.4401087

0.86074	0.2992005	9.875E-07	0.3135502	0.000572	7.1854796	0.4128387
0.92095	0.1736674	3.565E-06	0.2225316	0.0005499	7.1929654	0.3653606
0.98116	0.0912378	5.701E-06	0.1455329	0.0005035	6.9439233	0.3119868
1.02118	0.0536704	6.485E-06	0.1011649	0.0004467	6.5325429	0.2713074
1.09849	0.0168887	6.301E-06	0.0487049	0.0003501	6.0368237	0.2001012
1.1758	0.0032745	4.835E-06	0.0234189	0.0002793	5.7989675	0.137814
1.22799	0.0003486	3.753E-06	0.0158752	0.0002549	5.7592359	0.1029718
1.33004	0.0022162	1.803E-06	0.0113113	0.0002054	4.8747155	0.0584148
1.43209	0.0070546	9.176E-07	0.0086666	0.0002019	3.927675	0.0329232
1.50215	0.0091648	6.431E-07	0.0072993	0.0001899	3.2154342	0.0209005
1.64088	0.0103466	3.387E-07	0.0037159	0.000106	1.4429214	0.0056878
1.77961	0.0057929	9.353E-08	0.0022655	3.029E-05	0.6447473	0.0006181
1.85154	0.0037283	2.915E-08	0.0016541	1.047E-05	0.4057686	0.0002769
1.96	0.0016922	1.299E-08	0.0009101	1.979E-06	0.1924922	0.0009695
2.06847	0.0005463	1.813E-07	0.0006515	1.11E-05	0.1945615	0.0017394
2.1284	0.0019688	6.542E-07	0.000487	0.0002085	0.0033486	0.0018335
2.22587	3.768E-05	2.731E-06	0.0002303	0.0006518	0.173463	0.0018767
2.32334	0.0001219	1.208E-07	0.0001588	2.453E-05	0.0382788	0.0014635
2.40778	0.0001093	1.947E-08	0.0001222	5.89E-06	0.0203126	0.000948
2.60049	3.753E-05	8.548E-09	3.694E-05	4.638E-07	0.0051889	1.994E-06
2.7932	1.237E-05	1.729E-08	1.161E-05	7.219E-07	0.0016088	0.0003297
2.85581	9.967E-06	1.619E-08	9.975E-06	6.906E-07	0.0012583	0.0003555
2.87826	1.038E-05	1.472E-08	1.017E-05	6.348E-07	0.0012719	0.0003464
2.90071	1.145E-05	1.284E-08	1.066E-05	5.632E-07	0.0013522	0.0003291

### C.6 Spektra Respons Arah 45

Frekuensi (rad/s)	Surge (m <sup>2</sup> /rad/s)	Sway (m <sup>2</sup> /rad/s)	Heave (m <sup>2</sup> /rad/s)	Roll (°/rad/s)	Pitch (°/rad/s)	Yaw (°/rad/s)
0.31487	0.0159313	0.0159315	0.0035895	0.0016476	0.0016474	2.985E-07
0.3237	0.068597	0.0685979	0.0165946	0.0080747	0.008074	1.412E-06
0.33999	0.1481945	0.1481971	0.0406494	0.0219471	0.0219451	3.555E-06
0.35629	0.2096863	0.2096905	0.0648011	0.0386475	0.038644	5.707E-06
0.36657	0.3061326	0.3061392	0.1017067	0.0644504	0.0644446	9.122E-06
0.3856	0.6620986	0.6621136	0.2498597	0.1767141	0.1766992	2.31E-05
0.40463	0.9682941	0.9683197	0.3942763	0.3272271	0.3272001	3.928E-05
0.41669	1.1597333	1.1597633	0.4951679	0.4526071	0.452571	5.068E-05
0.4391	1.5568387	1.5568837	0.7250647	0.7860333	0.7859732	7.749E-05
0.4615	1.8757645	1.8758208	0.9513282	1.2110502	1.2109638	0.0001069
0.47577	1.9371895	1.9372485	1.036581	1.4550127	1.454915	0.0001166
0.50238	2.0018353	2.0019003	1.1820197	1.9744883	1.9743621	0.0001313
0.52899	1.9030764	1.9031408	1.2381965	2.4382853	2.4381429	0.0001301
0.54603	1.7889957	1.7890571	1.2376957	2.6965083	2.6963552	0.000126
0.57798	1.5360606	1.5361172	1.1911133	3.1118938	3.1117255	0.0001105
0.60992	1.2614696	1.2615199	1.0950985	3.4010192	3.4008355	8.948E-05
0.63052	1.0898078	1.0898538	1.0171116	3.5174188	3.5172323	7.647E-05
0.66936	0.8120532	0.8120908	0.8682908	3.6522092	3.6520094	5.627E-05
0.70819	0.5841877	0.5842157	0.7190299	3.7263458	3.7261484	3.998E-05
0.73344	0.470855	0.4708781	0.634158	3.7591478	3.7589489	3.215E-05
0.78136	0.3081406	0.3081563	0.4910077	3.753998	3.7538015	2.127E-05
0.82928	0.2002291	0.2002396	0.3765438	3.7243334	3.7241379	1.449E-05



0.86074	0.1495786	0.1495862	0.3134324	3.6850916	3.6849014	1.127E-05
0.92095	0.0861249	0.0861294	0.2224535	3.6896983	3.6895051	7.31E-06
0.98116	0.0447156	0.0447179	0.1455058	3.5631815	3.5629917	4.631E-06
1.02118	0.0259805	0.0259817	0.1011747	3.352999	3.3528134	3.307E-06
1.09849	0.0078461	0.0078464	0.0487772	3.1003443	3.1001605	1.781E-06
1.1758	0.0013504	0.0013504	0.0235347	2.979702	2.9795211	9.612E-07
1.22799	8.703E-05	8.702E-05	0.0160064	2.9597059	2.9595249	6.254E-07
1.33004	0.0013615	0.0013616	0.0114348	2.4966085	2.496453	2.095E-07
1.43209	0.0038719	0.0038722	0.0087694	1.995129	1.9950109	5.876E-08
1.50215	0.0048647	0.004865	0.0073797	1.6210626	1.6209709	2.659E-08
1.64088	0.0051795	0.0051798	0.003726	0.7155933	0.7155619	2.262E-08
1.77961	0.002904	0.0029041	0.0022097	0.323673	0.3236575	3.243E-08
1.85154	0.0018756	0.0018757	0.0015922	0.2057282	0.2057152	2.757E-08
1.96	0.0008308	0.0008309	0.0008722	0.097416	0.0974073	1.478E-08
2.06847	0.0002638	0.0002638	0.0006457	0.0943004	0.0942941	6.94E-09
2.1284	0.0009553	0.0009553	0.0005061	0.0003994	0.0004	3.667E-10
2.22587	4.131E-05	4.128E-05	0.0002432	0.0941121	0.094128	6.15E-10
2.32334	6.491E-05	6.49E-05	0.000158	0.0199682	0.0199705	1.672E-09
2.40778	7.076E-05	7.076E-05	0.0001221	0.0123976	0.012397	2.495E-09
2.60049	1.98E-05	1.981E-05	4.01E-05	0.0028418	0.0028408	1.345E-09
2.7932	1.061E-05	1.061E-05	1.575E-05	0.0010154	0.0010157	1.379E-09
2.85581	9.13E-06	9.129E-06	1.025E-05	0.0008101	0.0008103	1.291E-09
2.87826	9.034E-06	9.035E-06	9.346E-06	0.0008044	0.0008044	1.121E-09
2.90071	9.301E-06	9.303E-06	9.657E-06	0.0008499	0.0008498	9.259E-10

### C.6 Spektra Respons Arah 90

Frekuensi (rad/s)	Surge (m <sup>2</sup> /rad/s)	Sway (m <sup>2</sup> /rad/s)	Heave (m <sup>2</sup> /rad/s)	Roll (°/rad/s)	Pitch (°/rad/s)	Yaw (°/rad/s)
0.31487	4.8443E-05	0.02952893	0.00358726	0.00319776	1.2505E-06	0.00254757
0.3237	0.00019123	0.12755609	0.01658441	0.01567479	5.7923E-06	0.0110055
0.33999	0.00035391	0.27705344	0.04062506	0.04261724	1.4292E-05	0.02406612
0.35629	0.00043173	0.39388293	0.06476358	0.07506806	2.3038E-05	0.0347792
0.36657	0.00057554	0.57662981	0.10164931	0.1252087	3.6474E-05	0.05172519
0.3856	0.00105662	1.25285425	0.24972623	0.34341106	9.1295E-05	0.11625693
0.40463	0.00129051	1.8397536	0.39407312	0.63620888	0.00015005	0.17600148
0.41669	0.00138369	2.20862765	0.49491986	0.88020942	0.0001935	0.21625133
0.4391	0.00151977	2.97663912	0.72472352	1.52929505	0.00029825	0.30958805
0.4615	0.00150597	3.59895069	0.95091397	2.35703817	0.00041251	0.40121281
0.47577	0.00137514	3.72448752	1.03615742	2.83242064	0.00046558	0.43951193
0.50238	0.00113114	3.86220053	1.18159464	3.84485516	0.00056738	0.50672456
0.52899	0.00085428	3.68340559	1.23782141	4.74920667	0.00063746	0.54911513
0.54603	0.00069127	3.46919076	1.23736732	5.25287973	0.00066724	0.56326769
0.57798	0.00044342	2.98880462	1.19088707	6.06337046	0.00070299	0.58046475
0.60992	0.0002665	2.46234409	1.09497654	6.62782629	0.00071071	0.57792034
0.63052	0.00018522	2.13151413	1.01705141	6.85527801	0.00070372	0.56943512
0.66936	8.7117E-05	1.59411617	0.86832593	7.11892499	0.00068141	0.5465321
0.70819	3.5676E-05	1.15068148	0.7191298	7.26497951	0.00066145	0.51980966
0.73344	1.8071E-05	0.92955754	0.63428595	7.3296569	0.00064937	0.50582062
0.78136	3.1937E-06	0.61108558	0.49115706	7.32034494	0.00062044	0.47147186
0.82928	3.4238E-07	0.39907473	0.37668662	7.26258226	0.00059352	0.43721814

0.86074	1.0088E-06	0.29920561	0.31355876	7.18571426	0.00057446	0.41007806
0.92095	3.5672E-06	0.17367027	0.22253732	7.19319879	0.00055144	0.36287938
0.98116	5.6891E-06	0.09123883	0.14553629	6.94415661	0.00050415	0.30986804
1.02118	6.4665E-06	0.05367059	0.10116714	6.53280193	0.00044674	0.26948941
1.09849	6.2797E-06	0.01688825	0.04870588	6.03710881	0.00034952	0.19887951
1.1758	4.8183E-06	0.00327414	0.02341924	5.79930123	0.00027863	0.1371317
1.22799	3.7416E-06	0.0003484	0.01587534	5.75960234	0.0002543	0.1025627
1.33004	1.7987E-06	0.00221677	0.01131144	4.87509646	0.00020508	0.05832289
1.43209	9.1632E-07	0.00705565	0.00866676	3.92801415	0.00020124	0.03291411
1.50215	6.4207E-07	0.00916602	0.00729944	3.21570574	0.00018888	0.02091197
1.64088	3.3561E-07	0.01034717	0.00371608	1.44298747	0.00010491	0.00573002
1.77961	9.1848E-08	0.00579305	0.00226562	0.64476101	2.9775E-05	0.00064964
1.85154	2.8373E-08	0.00372842	0.00165422	0.40578014	1.0215E-05	0.00028071
1.96	1.3204E-08	0.00169236	0.0009101	0.19250102	1.96E-06	0.00094751
2.06847	1.806E-07	0.00054678	0.00065148	0.19449918	1.0734E-05	0.00172473
2.1284	6.5167E-07	0.0019686	0.00048706	0.00335716	0.00020787	0.00182234
2.22587	2.7354E-06	3.7799E-05	0.0002303	0.17350776	0.00065218	0.00187466
2.32334	1.2187E-07	0.0001219	0.00015881	0.0382779	2.471E-05	0.00145824
2.40778	1.974E-08	0.00010938	0.00012217	0.02031604	5.9604E-06	0.00094631
2.60049	8.4693E-09	3.7524E-05	3.6941E-05	0.00518871	4.7031E-07	1.8787E-06
2.7932	1.7298E-08	1.2368E-05	1.1608E-05	0.00160934	7.2067E-07	0.00032877
2.85581	1.6244E-08	9.9651E-06	9.9756E-06	0.00125845	6.9132E-07	0.0003549
2.87826	1.4798E-08	1.0378E-05	1.0167E-05	0.00127202	6.3607E-07	0.0003456
2.90071	1.2936E-08	1.1445E-05	1.0661E-05	0.00135234	5.6475E-07	0.00032815

**LAMPIRAN D**  
**Perhitungan *Fatigue***

#### D.1 Perhitungan Tension dan Principal Stress H 0.0-0.5 m

Cable	Tension (N)	Angle (°)	Force (N)	
5	312.13925	54.93	x	179.348
			y	255.471
1	209.84758	25.07	x	190.078
			y	88.9177
8	1831.8616	25.07	x	1659.28
			y	776.206
4	958.07935	54.93	x	550.49
			y	784.141

Titik Tinjau	Max Prin Stress (MPa)
A	0.025384
B	0.01343
C	0.012733
D	0.015209
E	0.060736

#### D.2 Perhitungan Tension dan Principal Stress H 0.5-1.0 m

Cable	Tension (N)	Angle (°)	Force (N)	
6	1268.3887	54.93	x	728.787
			y	1038.11
2	304.81036	25.07	x	276.094
			y	129.156
7	10736.907	25.07	x	9725.39
			y	4549.5
3	5640.791	54.93	x	3241.07
			y	4616.71

Titik Tinjau	Max Prin Stress (MPa)
A	0.77754
B	0.5533
C	0.3662
D	0.37423
E	0.43445

### D.3 Perhitungan Tension dan Principal Stress H 1.0-1.5 m

Cable	Tension (N)	Angle (°)	Force (N)	
5	60096.93	54.93	x	34530.3
			y	49186.4
1	1984.9009	25.07	x	1797.9
			y	841.053
8	41354.441	25.07	x	37458.5
			y	17522.9
4	81886.274	54.93	x	47050
			y	67019.9

Titik Tinjau	Max Prin Stress (MPa)
A	0.76
B	0.108
C	0.8703
D	3.42
E	0.664

### D.4 Perhitungan Tension dan Principal Stress H 1.5-2.0 m

Cable	Tension (N)	Angle (°)	Force (N)	
6	49460.156	54.93	x	28418.7
			y	40480.7
2	141.16376	25.07	x	127.865
			y	59.8146
7	82645.117	25.07	x	74859.2
			y	35018.8
3	99477.656	54.93	x	57157.6
			y	81417.6

Titik Tinjau	Max Prin Stress (MPa)
A	6.1337
B	4.1311
C	2.7715
D	6.223
E	5.0687

#### D.5 Perhitungan Tension dan Principal Stress H 2.0-2.5 m

Cable	Tension (N)	Angle (°)	Force (N)	
5	147791.7	54.93	x	84917.7
			y	120960
1	123277.59	25.07	x	111664
			y	52235.8
8	97.144196	25.07	x	87.9923
			y	41.1624
4	67226.156	54.93	x	38626.6
			y	55021.3

Titik Tinjau	Max Prin Stress (MPa)
A	9.14
B	6.18
C	4.24
D	9.25
E	7.61

#### D.6 Perhitungan Tension dan Principal Stress H 2.5-3.0 m

Cable	Tension (N)	Angle (°)	Force (N)	
6	27809.313	54.93	x	15978.6
			y	22760.6
2	-1.4171022	25.07	x	-1.2836
			y	-0.6005
7	134138.98	25.07	x	121502
			y	56838.1
3	125109.23	54.93	x	71884.9
			y	102396

Titik Tinjau	Max Prin Stress (MPa)
A	9.82
B	6.87
C	5.02
D	7.97
E	7.46

#### D.7 Perhitungan Tension dan Principal Stress H 3.0-3.5 m

Cable	Tension (N)	Angle (°)	Force (N)	
6	77166.367	54.93	x	44338
			y	63156.9
2	-3.2051497	25.07	x	-2.9032
			y	-1.3581
7	185564.09	25.07	x	168082
			y	78628.2
3	185361.75	54.93	x	106505
			y	151709

Titik Tinjau	Max Prin Stress (MPa)
A	13.65
B	9.39
C	6.385
D	11.72
E	10.33

#### D.8 Perhitungan Tension dan Principal Stress H 3.5-4.0 m

Cable	Tension (N)	Angle (°)	Force (N)	
6	0.5821468	54.93	x	0.33449
			y	0.47646
2	0.3969765	25.07	x	0.35958
			y	0.16821
7	101386.62	25.07	x	91835.1
			y	42960.1
3	-2.6524777	54.93	x	-1.5241
			y	-2.1709

Titik Tinjau	Max Prin Stress (MPa)
A	7.2
B	5.2
C	3.18
D	4.29
E	2.29



## BIODATA PENULIS



Ananda Raiz Pambela, anak pertama dari dua bersaudara ini lahir di Malang pada tanggal 17 Juli 1996. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN Ngaglik 1 Batu pada tahun 2008 dan SMP Negeri 3 Malang pada tahun 2010. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah di SMA Negeri 3 Malang pada tahun 2013. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan ke jenjang Pendidikan Tinggi Strata 1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 4313100111. Selama menempuh masa perkuliahan penulis aktif di organisasi kemahasiswaan serta kepanitiaan. Penulis pernah mendapatkan amanah sebagai Anggota Dewan Perwakilan Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan ITS periode 2015-2016. Penulis pernah berkesempatan untuk melaksanakan kerja praktek di PT. Citra Mas selama 2 bulan. Permasalahan yang diangkat oleh penulis mendasar kepada salah satu bidang keahlian di Jurusan Teknik Kelautan yaitu Hidrodinamika dan Perancangan Struktur Bangunan Laut.

Email : anandarz04@gmail.com